



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Mihkel Elmaste

KILDEMAA JÄÄKSOO TAASTAMISE TEHNILINE PROJEKT

TECHNICAL RESTORATION PROJECT FOR THE KILDEMAA CUT-OVER PEATLAND

Ehitusinseneriõppe lõputöö

Vesiehitus ja veekaitse õppekava

Juhendajad: lektor Toomas Timmusk MSc

Henri Daniel Ots MSc

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Mihkel Elmaste		Õppekava: Vesiehitus ja veekaitse	
Pealkiri: Kildemaa jääksoo taastamise tehniline projekt			
Lehekülgi:72	Jooniseid:20	Tabeleid:7	Lisaid:4
Osakond/Õppetool: Maaehituse ja veemajanduse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Tehnikateadused T220			
Juhendajad: Toomas Timmusk, Henri Daniel Ots			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019			
<p>Rabadel on oluline roll olla ökosüsteemis süsiniku sidujaks, magevee reservuaariks ja erinevatele taimedele elukeskkonnaks. Kuivenduskravide rajamisega ja turba kaevandamisega on rikutud ära soos olev hüdroloogiline režiim, mis põhjustab suurtes kogustes kasvuhoonegaaside paiskumise atmosfääri. Lisaks on kuivendamise tõttu kadunud rabale iseloomulike taimede elukeskkond.</p> <p>Käesoleva magistritöö eesmärk oli anda ülevaade jääksoodest põhjustatud olulisematest keskkonnaprobleemidest ja laialtlevinud taastamisviisidest, ning koostada Kildemaa jääksoole tehniline taastamise projekt.</p> <p>Lähteülesanne on koostatud projekti tellija poolt. Lähteandmete kogumiseks on kasutatud välitööl teostatud mõõtmised, uuritud avalikke kaardirakendusi ja projektala varasemalt uuritud kirjandust.</p> <p>Projektlahendusega on taastatud jääksoos hüdroloogiline režiim, mis aitab kaasa rabasuunaliste taastumisprotsesside tekkele. Projektlahenduses on modelleeritud pinnavee efektiivne liikumine, suunates veevool kraavidest tagasi jääksoo alale. Projektlahenduse väljatöötamisel vooluvee ja valgalade modelleerimiseks on kasutatud vabavara SAGA.</p>			
Märksõnad: SAGA, modelleerimine, veerežiim			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's	
Author: Mihkel Elmaste		Curriculum: Hydraulic Engineering and Water pollution Control	
Title: Technical restoration project for the Kildemaa cut-over peatland			
Pages:72	Figures:20	Tables:7	Appendixes:4
Department / Chair: Chair of Rural Building and Water Management Field of research and (CERC S) code: Technological sciences T220 Supervisors: Toomas Timmusk, Henri Daniel Ots Place and date: Tartu, 2019			
<p>Bogs have an important role to accumulate carbon in ecosystem, to store fresh water reservoir and to provide living environment to different plants. Hydrological regimen has been damaged because of ditch digging and mining peat, large amount of greenhousegases released into atmosphere. In addition the habitat of plants has been lost due to drainage.</p> <p>The purpose of the present master's thesis is to give an overview about important environmental problems that are caused by peatlands and to give overview main recovery methods and to compose technical recovery project for Kildemaa peatland.</p> <p>The initial task is created by the project client. To collect source data fieldwork measurements have been used, public map applications have been explored and have been used previously studied literature in the project area.</p> <p>The hydrological regimen has been restored by the project that helps to improve Kildemaa cut-over peatland recovery processes to bog. The project solution includes efficient water surface movement to route water from the ditches back to the cut-over peatland surface. The SAGA freeware was used to design a project solution for modeling water routes and water catchment areas.</p>			
Keywords: SAGA, modelling, water regime,			

Sisukord

SISSEJUHATUS	6
1. SOODE OLULISUS JA TAASTAMISE VAJALIKKUS	9
1.1 Turbamaardlad Eestis.....	9
1.2 Jääksoodest põhjustatud ohud keskkonnale	10
1.2.1 Süsihappegaas ja metaan.....	10
1.2.2 Rabapõlengud	11
1.2.3 Põhjavee varu ja vee kvaliteet	11
1.3 Turbakaevandamisest kahjustatud soode taastamise viisid.....	12
1.3.1 Ülevaade jääksoo korrastamise eesmärkidest ja viisidest	12
1.3.2 Olemasolevate kraavide likvideerimine ja veerežiimi taastamine	13
1.3.3 Turvaspaisude ja astangute rajamine kuivenduskraavidele	14
1.3.4 Puitpaisud	16
1.3.5 PVC sulundseinade kasutamine paisudena	16
2. KILDEMAA JÄÄKSOO TAASTAMINE.....	18
2.1 Rekonstrueeritava ala kirjeldus	18
2.2 Väliuurimistööd	21
3. KILDEMAA E HITUSTEHNILINE PROJEKTLAHENDUS	27
3.1 Projektlahenduse põhimõtted ja piirid	27
3.2 Programmi SAGA kasutamine valgalade määramisel.....	28
3.3 Olemasolevate valgalade ja vooluakumulatsioonijoonte määramine	29
3.4 Veerežiimi taastamise projekteerimine	32
3.5 Valgalade ja vooluakumulatsioonijoonte määramine taastatud olukorras.....	35
3.6 Ülevoolu paisude projekteerimine	36
3.7 Taastamisjärgse olukorra tulemused	39
3.8 Ehitustööde mahud ja tööde korraldamine	40
3.8.1 Ehitustööde mahud	40
3.8.2 Ettevalmistavad tööd.....	41
3.8.3 Kraavide sulgemine	42
3.8.4 Pinnaspaisude ja vallide ehitamine	42
3.8.5 Muud tööd	44
KOKKUVÕTE	46

Viidatu kirjandus	48
Lisad	52
Lisa 1. Kraavide keskmised parameetrid ja seisukord	53
Lisa 2. Pinnasega suletavad kraavid	54
Lisa 3. Paisude mahud tüübiti ja paisude koordinaadid	55
Lisa 4. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.	62
Graafilised lisad	63
1. Taastamisala asukoha skeem M 1:150 000	
2. Valgalade paiknemine M 1:10 000	
3. Taastamisala plaan M 1:5 000	
4. Alal planeeritavad tegevused M 1:5 000	
5. Alale ligipääsu kirjeldav kaart M 1:10 000	
6. Kraavide sulgemise mõju vee liikumisele M 1:10 000	
7. Raietöötluse plaan M 1:20 000	
8. Ülevoolupaisu tüüp III joonis M 1:50	
9. Turbapaisu tüüp I ja II joonis M 1:80	

SISSEJUHATUS

Parasvöötme aladel on vanimaks looduskooslusteks sood ja rabad. Eestis on levinud head tingimused soode tekkeks, milleks on sademete hulka mitte ületav aurustumine, tasane maastik ning head hüdrogeoloogilised tingimused (Paal et al 2011). Monograafia „Eesti maastikud“ järgi sood (turvasmuld paksusega üle 30 cm) moodustavad kogu maafondist 23,2% (Arold 2005).

Majandustegevus on soode seisundit tugevasti mõjutanud. Nende veerežiimi on mõjutanud viimaste sajandite jooksul kuivendamine nii põllu- kui ka metsamajanduse vajaduste rahuldamiseks. Pindalaliselt suurima osa on kuivendatud metsamaa pind 728 391 ha (Kuivendatud... 2019), millest enamus paikneb soomuldadel. Sood kuivendamise tingis Eestis vajadus puudus põllumaa järele. Vähesel määral alustati soode kuivendamisega 17. sajandil ning see levis laiemalt Eestisse Saksamaa eeskujul ning suurtalunike eestvedamisel rajati maaparandusbürood (Truus *et al.* 2018).

Loodusliku taimkatte on hävitanud turba kaevandamine. Turvast hakati Eestis kasutama kütteenite puuduse tõttu 19. sajandi teisel poolel. Turba kasutamine energeetikas ja põllumajanduses allapanuks kasvas möödunud sajandi kolmekümnendatel aastatel, moodustati asutus „Riigi Turbatööstus“ 1940. 60-ndatel aastatel seoses suurfarmide rajamisega võeti kasutusele uusi alaturba kaevandusalasid. (Kohv et al 2015).

Saja aastaga on looduslikus seisundis olevate soode pindala Eestis vähenenud 1 miljonilhektarilt 350 000 hektarile (Keskkonnaministeerium 2012). Looduskaitse arengukava (aastaks 2020) üheks eesmärgiks on „Liikide ja elupaikade soodne seisund ja maastike mitmekesisus on tagatud ning elupaigad toimivad ühtse ökoloogilise võrgustikuna“. Kus on märgitud, et taastatud loodusliku veerežiimiga sookoosluste pindala 2011. aastal on kokku 100 hektarit ja eesmärk 2020. aastaks on 10 tuhat hektarit (Keskkonnaministeerium 2012). Sood kaitsmine seisneb loodusliku veerežiimi tagamises. Kuigi olemasolevaid uusi kuivenduskraave soodesse ei rajata, mõjutavad olemasolevad kuivenduskraavid negatiivselt soode seisundit (Keskkonnaministeerium 2012).

Vastavalt Maapõueseadusele on kaevandusloa omanik kohustatud pärast ressursi ammendamist kaevandamisala korrastama (Maapõueseadus 2019). Eestis on hinnanguliseltmaha jäetud pärast okupatsiooni perioodi lõppu 80 jääksood, mille kogupindala on 9800 hektarit (Paal *et al* 2016).

Kui kraave ei hooldata perioodiliselt, siis nad ummistuvad ning kuivendusega muudetud veerežiim hakkab taastuma. Kaevandusaladel on mitmed uurimistööd näidanud, et suure pindalaga turbatootmisväljakud taimestuvad väga aeglaselt (Paal *et al* 2011). Seetõttu riikides, kus on olnud või on olnud suuremahuline turbakaevandamine on loodud programmid kaevandusala korrastamiseks ja selle protsessi teaduslikuks uurimiseks ja kasutatud meetodite seireks. Ka Eestis on algatatud jääksoode taastamise programm, mille hulka kuulub ka käesoleva lõputöö objekt.

Kildemaa jääksoo asub Kõrsa raba kirde osas. Kildemaa jääksoos on toimunud turba kaevandamine ja turbakaevandamiseks alade ettevalmistamine. Turba kaevandamiseks rajatud kuivenduskraavidega ja turba kaevandamisega on ära rikutud Kõrsa raba kirdeosa looduslik veerežiim. Raba looduslähedaste tingimuste taassoostumise protsessideks on vaja taastada esialgne veerežiim. Rikutud veerežiimi ja looduskoosluste tõttu paiskub atmosfääri süsihappegaasi jääksoo aladelt ja Kõrsa raba aladelt, mis on kuivendussüsteemide poolt mõjutatud (Paal *et al* 2016).

Käesolev lõputöö käsitleb Kildemaa jääksoo taastamist. Tööeesmärk oli uurida Pärnumaa lääneosas asuva Kildemaa jääksoo kaevandusala ja kaevandamiseks ettevalmistatud alade olukorda ja teostada projekteerimiseks vajalikud mõõtmised ja vaatlused ning koostada Kildemaa jääksoo ehitustehniline taastamisprojekt.

Lõputöö sisu tugineb autori tööülesandena töötamisel tehnikuna AS Projekteerimisbüroo Maa ja Vesi tehtud välitöödel, töökoosolekute protokollidel tellijaga ja asjakohaste asutustega. Projekti eesmärgid ja tehnilised lahendused on määratud projekteerimistingimustega. Kildemaa jääksoo taastamisalaveevoolu suunamise projektlahenduseväljatöötamiseks kasutatakse pinnavee liikumise modelleerimisel GIS-il põhinevat vabavara programmi SAGA „*System for Automated Geoscientific Analyses*“ versiooni 6.0.0 (edaspidi SAGA). Lisaks vabavarale SAGA kasutatakse projektlahenduse väljatöötamiseks ja andmete teisendamiseks programme AutoCad Civil 3D, AutoDesk ReCap ja LAS Toolsi ning vaatlusi ja mõõtmistulemusi objektil.

Käesolev koostatud magistritöö ülesehitus koosneb sissejuhatusest, sisulisest osast, mis koosneb kolmest peatükist, kokkuvõttest viidatud kirjandusest, lisadest ja graafilistest lisadest. Sisulise osa peatükid koosnevad analüüsitud kirjandusest, taastava ala uurimisest ning projektlahenduse väljatöötamisest.

1. SOODE OLULISUS JA TAASTAMISE VAJALIKKUS

1.1 Turbamaardlad Eestis

Eestis jagunevad soode tekkimise viisid kaheks. Sood tekivad mineraalmaa soostumisel ja veekogu kinnikasvamisel (Paal *et al* 2011). Soode pindala Eestis on ligi 9000 km² (Valk 1988). Eesti alal on looduslikud tingimused olnud mulla soostumiseks soodsad alates mandrijää taandumisest. U.Valk oma monograafias märgib, et turba juurdekasvu intensiivsus eri aastatuhandetel on varieerunud 0,3 mm kuni 1,1 mm-ni aastas ja ka nüüdisaegse kliima soojenemise tulemusena soostumisprotsessi intensiivsus pigem kasvab (Valk 2005).

Vastavalt Eesti vabariigi seadusele loetakse turbamaardlaks alad, mille looduskeskkond on inimtegevuse käidus rikutud ning millel puudub oluline looduskaitsealine väärtus. Maapõueseaduse alusel loetakse maavaraks looduslikku setendit mille lasund või selle osa on maardlana kantud keskkonnaregistrisse (Maapõueseadus 2019). Nii on Kõrsa maardla Keskkonnaregistris arvel pindalaga 2262,25 hektarit, Kildemaa kaevandusalal on 8 plokk keskmise paksusega 1,77 m vähelagunenud turbaga ja 7 plokk hästilagunenud turbaga paksusega 0,45 m aktiivne tarbevaru. Maardlate kaardirakenduses on Kildemaa korrastatavate turbalalade nimekirjas (Maa-amet 2019).

Ajas on looduskeskkonna ja maavarade kasutamise osas seisukohad muutunud ja kehtiva Maapõueseaduse alusel on „turba kaevandamiseks lubatud kaevandamisluba taotleda üksnes kaevandamisega rikutud ja mahajäetud turbaalade nimekirja või kaevandamiseks sobivate turbaalade nimekirja kantud alal või maardlal“ (Maapõueseadus 2016).

Maapõueseadusest tulenevalt Keskkonnaministri 27.12.2016 määruse nr 87 Lisa 1 põhjal on kokku Eestis 266 kaevandamiseks sobivat turbamaardlat kogupindalaga 145 429,1 hektarit, millest 446 hektarit moodustab Kõrsa raba läänepoolne osa. Lisa 2 alusel kaevandamisega rikutud ja mahajäetud maardlate nimekirjas on 46 ala pindalaga kokku

3558,5 hektarit, sealhulgas ka Kildemaa kaevandusala pindalaga 44,8 hektarit (Kaevandamisega ... 2016).

Rikutud turba kaevandusala korrastamise kohustus lasub kaevandusloa omanikul (Maapõuuseadus¹ 2016).

Meetmest "Saastunud alade ja veekogude korrastamine" on Euroopa liit eraldanud Eestile ajavahemikuks 2014 kuni 2020 10,9 miljonit eurot, rikutud turbakaevandusalaade taastamiseks (Paal *et al* 2016).

1.2 Jääksoodest põhjustatud ohud keskkonnale

1.2.1 Süsihappegaas ja metaan

Taimed seovad fotosünteesi käigus süsihappegaasi. Aastatuhandete jooksul seotud süsihappegaas on ladestunud taimejäänustena turbana. Taimejäänuste lagunemise protsessi ei teki anaeroobses keskkonnas, mis on põhjustatud pinnalähedase veetaseme tõttu. Kuivenduse tõttu veetase alaneb ja hapniku ligipääsul hakkavad levima turvast lagundavad mikroorganismid, kes põhjustavad lagunemisprotsessi kümme korda kiiremini kui turba moodustamiseks aega läks. Tuhandete aastate jooksul seotud süsinik paiskub süsihappegaasina tagasi atmosfääri. (Truus *et al.* 2018).

Kasvuhoonegaaside emissiooni turbaaladel jagunevad nelja erinevasse kategooriasse (Truus *et al.* 2018):

- 1) Looduslikus olukorras, kus soo ala on veega küllastunud eraldub orgaanilise aine lagunemisel süsihappegaasi, kuid eraldumise kogus on väiksem, kui süsiniku sidumise võime soos. Lisaks sellele eraldub looduslikus olukorras anaeroobses keskkonnas soos metaani. Osa metaanist tarbitakse ära bakterite poolt.
- 2) Kuivendatud olukorras saab soos süsiniku sidumise rollist süsiniku eraldamise roll. Lisaks süsinikule hakkab kuivenduse mõjul aeroobses keskkonnas eralduma ka dilämmastikoksiid (naerugaas). Gaaside eraldumise kogus sõltub kuivenduse sügavuse ulatusest.
- 3) Ala taastamine veega küllastudes ei anna kohest efekti süsiniku sidumise näol ja see võib aega võtta 10 aastat ning metaani emissioon säilib.

- 4) Taastatava ala üleujutamise korral metaani emissioon suureneb.

Õigesti taastatud turbaala korral toimub süsiniku sidumise protsessid kiiremini, kuid need sõltuvad ilmastikust, veetasemest ning taimede kattuvusest (Purre *et al* 2019).

1.2.2 Rabapõlengud

Soodes on ladestunud enamus maapealsest süsinikust moodustades maailmas maismaa pindalast vaid 3% ning ladustades ligi kolm korda rohkem süsinikku kui metsad. Turvas võib süttida lisaks inimtegevuse hooletuse või õnnetuse tagajärjel ka välise mõju tõttu, milleks on (Restuccia *et al* 2017):

- 1) pikselöök,
- 2) kuiva pinnase korral isesüttimine, põlemine levib hõõgudes
- 3) muu tulekahju levik turbaalale.

Jääksoos tekkinud tulekahju on väga keeruline kustutada, sest tulekahju levib turbapinnase all ja leviku piiri pole visuaalselt alati näha (Truus *et al.* 2018). Lisaks puuduvad alal või on lagunenud olemasolevad ligipääsuteed tulekolleteni ning veevõtukohtadeks olevate tuletõrjетиikideni (Viir 2013). Tulekahju rabades võib kuival perioodil kesta mitmeid nädalaid ja kuid (Brookset *al* 2014). Peale rabas toimunud põlengut eraldub atmosfääri kakskümmend korda rohkem metaani ja süsihappegaasi võrreldes alaga, mis ei ole põlenud (Grau-Andrés *et al* 2019). Kuival aastaajal on vee sisaldusel turbapinnasel oluline roll vähendada tulekahjude riski. Veesisaldus, mis moodustab alla kolmekümne protsendi turbas sisalduvast põlevainest, loetakse turbamaa tuleohtlikuks. Sõltuvalt turba omadustest on turbapinnase kapillaarne vee maksimaalne tõus 50 sentimeetrit (Nugraha *et al* 2016).

1.2.3 Põhjavee varu ja vee kvaliteet

Soodel on oluline roll säilitada magevett, toites ümbruskonna põhjavett ja olles magevee reservuaariks. Hinnanguliselt kümme protsenti mageveevarudest kogu maailmas asuvad soodes (Ballard *et al* 2011). Raba massist moodustab vesi 90 % ning vett sisaldava kihi

paksus vastavalt rabale võib olla kuni 8 meetrit (Valk 1988). Võrreldes mineraalmaal asuvate jõgede ja järvede vee koostist on rabavesi on rikkam orgaaniliste ainete poolest ja vaesem lahustunud mineraalne poolest, sest toites peamiselt sademevetest (Valk 2005). Kahjustada saanud turbaalades põlengu, põllumajanduse või kuivenduse tõttu muutub vee kvaliteedi pinnases halvemaks. Veetaseme alanedes muutub vees sisalduvate mineraalsete ainete kontsentratsioon suuremaks ja toimub orgaanilise aine väljajätmine aladelt, mille tagajärjel muutub rabavee kvaliteet halvemaks. Veerežiimi taastades jääksoos toimub vee kvaliteedi taastumine sarnaseks soos (Martin-Ortega *et al* 2014).

1.3 Turbakaevandamisest kahjustatud soode taastamise viisid

1.3.1 Ülevaade jääksoo korrastamise eesmärkidest ja viisidest

Jääksoodeks nimetatakse endiseid soolasi, kus turbakaevandamine või põllumajanduslik tegevus on lõpetatud (Paal *et al* 2011). Jääksoo korrastamise eesmärgiks võib olla ala edasine kasutamine metsakasvatuseks, märgalana (veekoguna) või loodusliku soo taastamine. Põhimõtteliselt on võimalik ka jääksood peale turbakaevandamise lõppemist korrastada põllumaaks, mis Eestis tervikuna suure maksumuse, väikese mullaviljakuse ning maakasutuse probleemide tõttu ei ole aktuaalne. Ülalmainitud looduskaitsearengukava alusel on üheks eelistatud lahenduseks soo taastamine.

Eesti maavarade kasutamist reguleerivas seadustikus on kaevandatud maa korrastamine reguleeritud. Üldised nõuded on esitatud Maapõueseaduse § 80-s, üksikasjalikumad nõuded projekti sisu kohta keskkonnaministri määruses. Selle põhjal võib korrastamise tegevused jagada kaheks. Esiteks vajaliku veerežiimi loomiseks ehitiste likvideerimine või rajamine, mullatööd uute pinnavormide ja kaevandatud maa kujundamiseks ning ebasobiva pinnase eemaldamiseks. Teiseks bioloogiline korrastamine, mis seisneb rabale iseloomulike taimede hankimises nende laotamises taastavatele aladele ning multšiga katmises (Uuritud ... 2017).

Viimastel aastakümnetel maades, kus on olnud pikk ja ulatuslik turbakaevandamise ajalugu (Iirimaa, Holland, Kanada, Soome), tegeletud jääksoode taastamise uurimise

ningoptimaalse tööde tehnoloogia arendamisega (McDonagh 1996; Qunity *et al* 2003; Leupold 2004)

Jääksoode aeglase taastumisprotsesside üks peamine põhjuseid on ebaühtlane veetase ja vee mahutavus jääksoos taimede kasvuperioodil, mis on tingitud turbakaevandamisest soosse rajatud kuivendussüsteemidest. Erinevaid meetodeid on kasutatud, et parandada ja stabiliseerida veetaset jääksoodes rajades erinevad kaitsevalle, poldreid, tammisid, paise ja muutes maapinna reljeefi ning pumbates vett taastavale alale. Põhilised viisid veerežiimi taastamisel jääksoos on rajades paise olemasolevatele kraavidele, luues kaskaade või astanguid kraavidele ja likvideerides olemasolevad kraavid kohaliku pinnasega (Price *et al* 2003). Vett tõkestavate rajatiste rajamisel tuleb vältida liigset inimeste ja masinate liikumist, mis võib kahjustada maapinna veepidavuse omadusi rajatise ümbruses (Brooks *et al* 2014).

Taastamistöödega on võimalik tekitada alal kaevanduseelne sarnane veetaseme olukord (Price *et al* 2003).

1.3.2 Olemasolevate kraavide likvideerimine ja veerežiimi taastamine

Raba ökosüsteemi toimimiseks on oluline tegur selle veerežiim – veetase, selle kõikumise ulatus nii vertikaalsuunas kui ka ajas ja vee kvaliteet (Mackin *et al* 2017).

Jääksoost rabaks taastumisprotsessid algavad, kui veetase taimede kasvuperioodil kraavides on maapinna suhtes mitte madalamal, kui 30 cm ning vee pH taastataval alal jääb alla 5,5 (Paal *et al* 2016). Raba taastamisel tuleb hinnata kraavide likvideerimise vajadust ja võimalusi. Likvideerima peaks eelkõige kraave, mis on suure vooluhulgaga ning mille sügavus ulatub aluspinnaseni. Kraavi täiteks kasutatava pinnase omaduseks peaks olema väikese vee läbilaskvuse võime, selle puudumisel taastamisalal tuleb kaaluda sarnase omadustega pinnase juurdevedu (Mackin *et al* 2017). Raba serval, kus kraavi ühele poole jääb muu pinnas, kui turvas, võib seda kasutada täitmiseks, kuid tuleb jälgida, et seda materjali kasutades ei toimuks toitainete sissekannet taastavale alale (Brooks *et al* 2014). Kraavi likvideerimine on oluline teostada kuival aastaajal madala veetaseme juures. Tähtis on sulgeda kraavid paisudega ülesvoolul enne täitma asumist. Tuleb jälgida alalt, kust pinnast kooritakse või kaevatakse kraavide täitmiseks ei toimuks kaevataval alal olulist

veetaseme muutust, mis võib mõjutada alal elavate koosluste elukeskkonda (Mackin *et al* 2017).

Rabavesi on happeline või nõrgalt happeline ja seetõttu selle sees ei ela baktereid, rabavee pH vastavalt raba tüübile jääb vahemikku 3-7, mis sõltub aastaajast, kliimast ja ilmastiku oludest (Bergsma, Quinlan 2009). Taime koosluste muutumise vältimiseks ei tohi rabasse juhtida liigvett, mille keemilised omadused on rabaveest erinevad. Fosfori ja lämmastiku rikka vee sissekanne põllumajandusliku maa pealt võib põhjustab lämmastiku lembeliste taimede leviku taastaval alal ja rabale iseloomulike taimede kadumist (Kaitstavate ... 2015). Rabataimedele eluks vajalike toitainete sissekanne rabasse toimub sademete ja õhus leviva toitainerikka tolmu kaudu (Ots, Tilk 2009).

1.3.3 Turvaspaisude ja astangute rajamine kuivenduskraavidele

Kraavidesse rajatud paisude eesmärgiks pole ainult tõsta veetaset kraavis, vaid juhtida seda ka tagasi soosse (Peatland..., 2015).

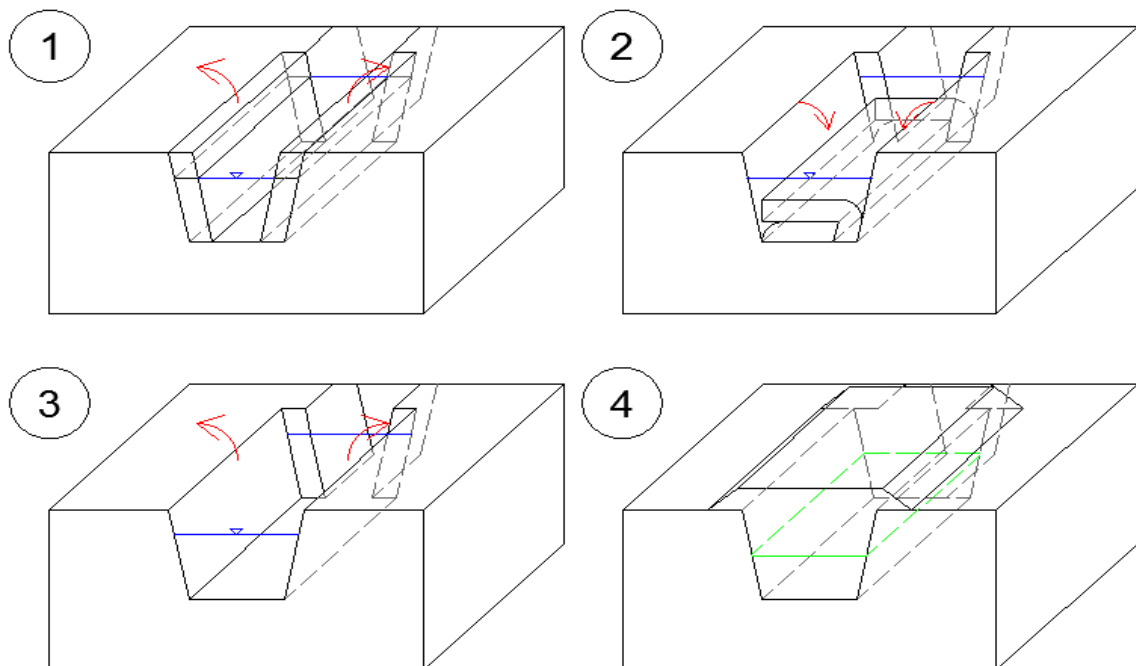
Kraavides vee liikumise ja kuivenduse mõju vähendamise uurimiseks on koostatud mitmeid katseid kasutades vee tõkestamiseks paisude rajamist. Meetri sügavuses katsekraavis hoiti veetaset põhjast 20 cm kõrgusel ja teisel juhul imiteeriti paisutatud olukorda, hoides veetaset 70 cm kõrgusel. Ilma paisuta alanes depressioonilehter mõlemal pool kraavi kallast viie meetri kaugusel rohkem kui kakskümmend sentimeetrit. Ühe meetri paksuse paisu rajamise korral oli depressioonilehter alanenud kraavist ülessevoolu kraavi kaldast viie meetri kaugusel ainult kuus sentimeetrit. Sellest saab järeldada, et pinnaspaisudel on oluline roll vähendada kuivenduse mõju. (Price *et al* 2003).

Käsitsi on turbapaise sobilik rajada kraavidesse, mille mõõdud on maksimaalselt seitsekümmend sentimeetrit lai ja kuuskümmend sentimeetrit sügav. Masinatega rajatavate turbapaisude puhul on kraavi maksimaalsed mõõdud on poolteist 1,5 meetrit lai ja 1,2 meetrit sügav. Suurematesse kraavidesse rajatavate trubapaisude puhul tekib oht nende lagunemisele suurte vooluhulkade juures. (Peatland..., 2015).

Lisaks tugevale suurtele vooluhulgale ei ole suurte turbapaisude eluiga pikk tugevate vihmasadude tõttu, mille tõttu turbapaisud lagunevad (Tomassen *et al* 2010). Selle

vältimiseks tuleb suurtes kraavides kasutada kombineeritud lahendust likvideerides kraavid ning kraavi peale rajada turbapaisud või kasutada suuremate turbapaisude sisemise osa tugevdamiseks ehitamisel palke või puitlaudasid. Kraavidesse, mis asetsevad paralleelselt tuleb paisud rajada üksteise suhtes astmetega, et suurendada niisutamise mõju ja pikendada vee liikumise teed ümbritseval alal. Turbapaisu rajamise etapid jagunevad järgnevalt (Peatland..., 2015) (Joonis 1.):

- 1) Paisu rajamise kohas tõstetakse pealmine kuiv turbakiht mõlemalt poolt kraavikallast ning tõstetakse kraavi kõrvale, mida läheb vaja hilisemaks taastamiseks.
- 2) Kraavi külgedes lõigatakse sisse 1 meetri laiused plokid, mis asuvad veega küllastunud alas ja need surutakse ilma kraavist välja tõstmata kraavi põhja.
- 3) Kraavist vahetult ülesvoolu, võetakse paisu rajamiseks kraavi kallastelt pinnast, eelnevalt tõstes kuiv pealmine turbakiht kõrvale. Paisu rajamiseks tuleb kasutada turvast, mis on kraavi põhjas ning sellel ei tohi lasta paigaldamisel kuivada. Kuivades muutuvad turba vettpidavad omadused kehvemaks. Materjali ei tohi võtta paisu rajamisest allavoolu.
- 4) Kõrvale tõstetud kuiv turbakiht tõstetakse turbapaisu peale ning ka kohta, kus kraavikallas rikuti paisu jaoks materjali võttes.



Joonis 1. Turbapaisu rajamise etapid (Peatland..., 2015)

Paisu materjaliks ei ole sobilik kasutada turba all olevat mineraalpinnast sest (Tomassen *et al* 2010):

- 1) Rabas paisu peal võivad hakata levima taimekooslused, kes ei ole raba keskkonnas loomupärased.
- 2) Mineraalpinnas turba peal ei püsi, sest turvaspinnas on poorsem ning mineraalpinnas vajub ajapikku turba sisse.

Piirkond raba taastamisalas, kus on järsem nõlv, mida mööda vesi liigub tuleks rajada mitmest paisust koosnev kaskaad. See on oluline, sest kuivemal ajal muutub nõlva ümbrus liigselt kuivaks ning märjemal aastaajal takistab see lumesulamisvee äravoolu ning oht nõlval erosioonile väheneb (Price *et al* 2003).

1.3.4 Puitpaisud

Puitpaisude rajamine on oluliselt ajakulukam ja kallim, kui turvaspaisude rajamine taastataval jääksoos. Puitpaisu rajamisel tuleb vältida palkide paigutamist horisontaalselt ja toetades neid vertikaalselt, kuna need muutuvad ebastabiilseks ja ei tõkesta vee liikumist efektiivselt. Selle asemel tuleb kasutada puitlaudaid, ning toetada need horisontaalselt ja puitlauad paigutada vertikaalselt ning vertikaalsed puitlauad suruda võimalikult sügavusele kasutades selleks ka ekskavaatori abi. (Landry, Rochefort 2012).

Rabavees keemilise koostise muutmise vältimiseks tuleb kasutada töötlemata lehtpuidust laudu, milleks sobivamateks on lehis, tamm ja jalakas. Töötlemata puidul on oht kiiresti rabavees mädanema hakata (Brookset *et al* 2014). Palkidest rajatava puitpaisu ehituse aeg on neli korda pikem, kui puitlaudadest ehitatava puitpaisu puhul (Landry, Rochefort 2012).

1.3.5 PVC sulundseinade kasutamine paisudena

Püstitades plastmassist paisude kasutamine madalates ja laugetes taastatavates soodes on võrreldes turbapaisudega suurem lekkimise risk. Plastmassist paisu rajamine on otstarbekas

laiale kraavile, kui ümbruskonnas on õhukene turbapinnas, mille turbapaisude materjali kaevamisel tekiks oht paljastada mineraalpinnas (Grand-Clement *et al* 2015). Suurte kraavide sulgemisel on otstarbekas kasutada plastmasspaise puitlaudadest ja kombineeritud paisu asemel. Nende eeliseks on (Brooks *et al* 2014):

- 1) Tehnoloogia arengu tõttu kiire ja lihtne paigaldamise viis.
- 2) Pikem eluiga võrreldes puitlaud ja metallist paisudega, milleks on materjali tugev vastupidavus füüsikalistele kui ka keemilistele kahjustatavatele teguritele,
- 3) Materjali kerge massi tõttu lihtne transportida.
- 4) Plastmassist paisu materjal on küll kallim, kui majanduslikult ökonoomsem pika eluea kestvuse tõttu.
- 5) Plastmassist sulundseinade tootmiseks saab kasutada taaskasutatud plastmaterjali.
- 6) Kuival aastaajal turba kuivades võivad tekkida praod turbapaisu, kuid plastikpaisu maapinna kuivamine ei ohusta.
- 7) Plastmassist paisu rajamiseks ei ole vaja kraavis teha ettevalmistustöid sette koorimise näol.

2. KILDEMAA JÄÄKSOO TAASTAMINE

2.1 Rekonstrueeritava ala kirjeldus

Kõrsa raba paikneb Pärnu maakonnas Sindi linnast ja Paikuse osavallast idas 10 km pikkuse ja kuni 3 km laiuse massiivina piki Pärnu ja Kurina jõge. Kõrsa raba on tekkinud järve kinnikasvamisel (Lode *et al* 2015). Raba ümbritsevad ida ja lõunasuunast siirde- ja madalsoo ning gleimuldadel kasvavad metsad, mis on kuivendatud. Ida- ja lõunasuunas on loodusliku raba piiriks Vaskjõgi (Hundimänniku peakraav). Põhjasuunas Kurina ja Pärnu jõe lammil kuivendatud lagedad alad. Kõrsa raba lääneosas (Lanksaare raba) on tegutsev turbakaevandusala. Kõrsa raba on III kategooria kaitsealuste liikide levikuala (Maa-amet).

Korrastatav Kildemaa jääksoo on osa Kõrsa rabast äärealast kirdeosas, mis asub Pärnu maakonnas Tori vallas Kildemaa külas (Graafiline lisa, leht 1). Taastatavale alale pääseb ligi põhja poolt mööda 8080001 Kõrsa - Niidaste tee 4,53 kilomeetril ristuva põhja lõuna suunalise kruuskatteegega, mis on heas seisukorras ning läbitav iga ilmaga.

Turbakihi keskmine paksus Kildemaa jääksoos 2015 aasta andmetel oli 1,6 meetrit, millest ülemine 0,9 meetri paksune kiht oli halvasti lagunenenud turvas ja alumine 0,7 meetrine kiht oli hästilagunenud turvas. Kõrsa raba turbakihi all asetseb järvemuda kiht, mille all omakorda asuvad liivad, saviliivad ja viirsavid. (Lode *et al* 2015).

Kildemaa turba kaevandusala rajamisega alustati enne 90-ndaid aastaid ja töö autoril ei ole andmeid mäeeralduse suuruse ega ka kaevandamisprojektide kohta. Kuid võib arvata, et kaevandatud turvast kasutasid lähedal olev Tori hobusekasvatus ja teised ümberkaudsed sovhoosid ning kolhoosid. (Lode *et al* 2015).

Kaevandatud põhjapoolset ala läbib keskelt põhja lõuna suunaline tee, mis jagab ala ida ja lääne poolseks plokiks. Keskmise ja lõunapoolse ala jagavad ida ja läänepoolseks plokiks planeeritava tee ehitamiseks rajatud põhja lõuna suunalised kuivenduskraavid. Maa-ameti kaardirakenduse alusel ning välitöödel kogutud vaatluste põhjal saab eesvoolude asendi

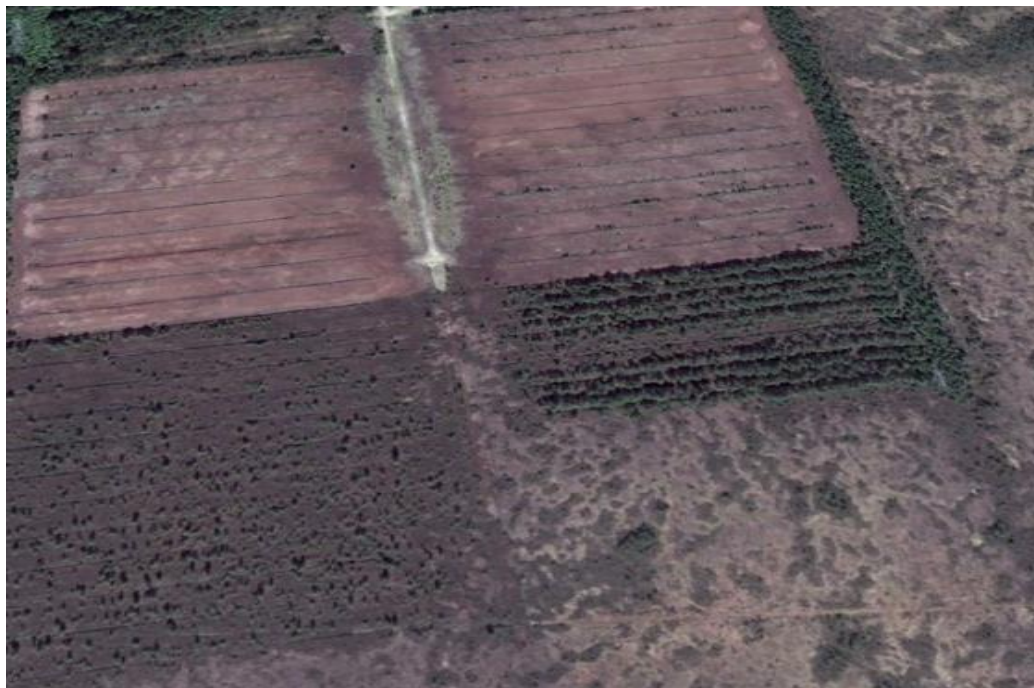
ning erinevas seisundis kuivenduskraavide põhjal hinnata ala pindala ning kaevandusala rajamise etappe, mis jagunevad järgnevalt kolmeks:

- 1) Põhja poolne ala, kus on rajatud alale kuivenduskraavid, ning kus on toimunud turbakaevandamine. Kuivendamine on avaldanud alale tugevat mõju. Rabale iseloomulikud taimed on halvasti levinud ning ülemine turba kiht on 10 cm ulatuses mineraliseerunud. Tee, eesvoolude ja kuivenduskraavide äärde on hakanud kasvama rabale mitteiseloomulikud taimed (kask, lepp, palju). Väljakute keskosa on taimestunud halvasti, metsale lähemad väljaku rohkem. Idapoolse bloki pindala on 7 ha ja läänepoolse plokki pindala 6 ha.
- 2) Keskmises alason tehtud ettevalmistused turbatootmiseks. Ala on raadamata, rajatud on kuivenduskraavid, mis avaldavad alal tugevat kuivendamise mõju kuid turbakaevandamist ei ole toimunud. Otsadreenid ehitamata ja seega ka mitte ummistunud, mis on alandanud põhjaveetasel ning seetõttu kraavide ääres on hakanud kasvama tihedalt rabale iseloomulikud rabamännid ja tee ääres rabale mitte omased taimed, milleks on kask, lepp ja paju. Idapoolse plokki pindala on 3 ha ja läänepoolse plokki pindala 6 ha.
- 3) Lõunapoolne ala, millel on nõrk kuivenduslik mõju, kuhu on rajatud planeeritava ida- ja läänepoolsele plokki ümber eesvoolu ja piirdekraavid, mis on kinni vajunud. Kuivenduskraave pole rajatud, turbakaevandamist pole toimunud ning taimeistik alal on sarnane ülejäänud looduslikus seisundis olevale Kõrsa rabale. Ida- ja läänepoolse plokki pindala on kokku 22ha.

Kuivendussüsteemide ja turba kaevandamisega on rikutud Kildemaa jääksoo, mille kogupindala on 44 ha. Kaevandusala eesvooluks on Kurina jõgi, mis on riigi poolt hooldatav maaparandussüsteemide eesvool. Kaevandusala oli projekteeritud freesturba tootmiseks. Maa-ala keskele on rajatud tee, mille äärde ladustati kaevandatud turvas. Eesvoolude üksteise vahekaugus on 510 meetrit ja kuivenduskraavide keskmine vahekaugus 20 meetrit. Idaploki drenkraavid on keskmiselt 10 meetrit pikemad kui läänepoolsed drenkraavid vastavalt 230 ja 240 meetrit. Kaevandusala põhjapoolses osas on kuivenduskraavidele rajatud ka otsadreenid, keskosas on väljakaevatud pinnasevallid jäänud laiali ajamata ning lõunapoolses osas on freesväljaku kraavid kaevamata.

Maa-ameti geoportaali ajaloolisi ortofoto kaarte ja Google Earthi kaarte võrreldes on näha, kuidas freesväljakute alal kasvas rabale omane hõre puittaimestik (Joonis 2). Võrreldes

tänapäevaste ortofotodega on selgelt näha rabale ebaloomulise puittaimestiku levikut alal, kuhu kuivenduskraavid on rajatud, kuid truba kaevandamist ei ole toimunud (Joonis 3).



Joonis 2. Kildemaa kaevandusala 2011. aastal (Google Earth)



Joonis 3. Kildemaa kaevandusala 2018. aastal (Google Earth)

Läbi Kõrsa raba on kaevatud varasemalt kuivenduskraav, mis läbib projektala ja suubub Kurina jõkke.

Projekti lähteülesande järgi korrastatava ala kogupindala käesolevas töös on 51 hektarit (Joonis 4), mis jaguneb kolmeks:

- 1) 49,6 hektariks, mis asetseb alal, kus turvast on kaevandatud ja turbakaevandamine on ettevalmistatud.
- 2) Kõrsa rabasse kaevatud kraavi likvideerimiseks väljaspool kaevandusala:
 - a) 0,84 hektariline ala läänesuunas;
 - b) 0,56 hektariline ala idasuunas.



Joonis 4. Kildemaa jääksoo taastatav ala (Maa-amet)

2.2 Väliuurimistööd

Väliuurimistöö on autoripoolt koostatud ning need viidi läbi oktoobris 2018. Väliuurimistööde eesmärk oli koguda andmeid projekteerimiseks. Välitööde uurimise ettevalmistamiseks koostati esialgne uurimistööde plaan kasutades Maa-ameti

põhikaartirakendust ja tehti esialgsed hinnangud põhirakendust kasutades. Välitööde ajal tehti vajalikud märkmed olemasoleva olukorra fikseerimiseks esialgsele projektplaanile, mis oli paberkandjal, kust kanti andmed edasi lõplikule digitaalsele projektplaanile. Välitöödel objektidel orienteerumiseks kasutati nutitelefoniga Avenza Maps kuhu lisati projektplaanist GeoPDF fail. Avenza Maps on vabavarana alla laetav Android või iOS operatsiooniüsteemi kasutavale nutiseadmele, millel on Global Positioning System (GPS) vastuvõtja.

Uurimistööde käigus kontrolliti üle kraavide omavaheline ühenduvus, hinnati kraavide seisukorda ja fikseeriti kraavide paiknemine ning mõõtelatiga mõõdeti olemasolevate kraavide veetasemed maapinnast, sügavused veetasemest kraavi põhjani ja maapinna kõrguselt kraavi laiused. Kraavide seisukorrad taastamisalal jaotati kaheks (joonis 5):

- 1) funktsioneeriv kraav, vett juhtiv kraav (A),
- 2) mitte funktsioneeriv kraav, kinnikasvanud ning vett alalt mitte juhtiv kraav (B).



Vaade põhja suunal kraavile K-27 tüüp A

Vaade ida suunal kraavile K-26 tüüp B

Joonis 5. Kraavi tüübid

Rabas esinesid ka kraavid, mis olid kinnikasvanud kuid neil esines visuaalselt vee juhtimise tunnused (Joonis 6). Sellised kraavid arvestatakse samuti tüübiks A.



Joonis 6. Vaade lõuna suunal kraavile K-25 kraavi K-24 ristumisel.

Alal, kus on toimunud turba kaevandamine ja alal, kus on tehtud eelkuivendus on eesvoolu kraavid (K-25 ja 27) hinnatud seisundis A olevateks, ristlõige on trapetsikujuline, pealtlaius kraavil K-25 keskmiselt 3,5 meetrit, sügavus 2,1 meetrit ja kraavil K-27 pealtlaius keskmiselt 1,5 meetrit ning sügavus 2,4 meetrit. Loodusliku taimestiku alal on eesvoolu K-25 sügavus keskmiselt 0,5 meetrit ja pealtlaius 0,3 meetrit ning eesvoolu K-27 pealtlaius keskmiselt 0,5 meetrit ja sügavus 0,5 meetrit (Lisa 1).

Turvast kaevandatud alal on läänepoolsel plokil kuivenduskraavide keskmine sügavus 1,4 meetrit ja pealtlaius 0,9 meetrit ning idapoolsel plokil keskmine kuivenduskraavide sügavus 1,3 meetrit ja pealtlaius 0,7 meetrit. Eelkuivendusega alal on kraavide keskmised mõõtmed läänepoolsel plokil sügavus 1,6 meetrit ja laius 0,9 meetrit ning idapoolsel plokil sügavus 1,4 meetrit ja pealtlaius 0,9 meetrit (Lisa 1). Loodusliku taimkattega alal kuivenduskraavid puuduvad (Graafiline lisa, leht 3).

Hinnati olemasolevate kogujakraavide ja turbakaevandamiseks ette valmistatud kraavide kõrvale tõstetud vallide olemasolu ja olemasolevate vallide mahtu. Kraavivallid jaotati visuaalsel hindamisel kolme kategooriasse (Tabel 1):

- 1) Kraavivall maapinnast kõrgusega kuni 0,5 meetrit (A),
- 2) kraavivall kõrgusega 0,5-1 meetrit (B),
- 3) kraavivall kõrgusega suurem kui 1 meetrit (C).

Tabel 1. Kraavivallide keskmised parameetrid

Kraavi tähis	Valli pikkus (m)		Valli laius (m)		Valli tüüp	
	parem	vasak	parem	vasak	parem	vasak
K-25		327		4		B
K-27	432		4		A	
K-29	120		4		A	
K-31	120		4		A	
K-32	120		4		A	
K-33	120		4		A	

Märkused:

Tähis "A" - Kõrgus vahemikus kuni 0,5 m

Tähis "B" - Kõrgus vahemikus kuni 0,5 - 1.0 m

Tähis "C" - Kõrgus vahemikus üle 1,0 m

Kraavivall "C" esines projektalast väljas kraavi K-27 ja K-49 vahel

Visuaalsel hindamisel esinesid kraavivallid vaid kuuel kraavi, mis on välja toodud tabelis 1. Ülejäänud kraavikallastel kraavivallid on vajumise tõttu kadunud või visuaalselt maapinna suhtes eristamatud.

Uuriti puittaimestiku leviku piire ning vajadust puittaimestiku raiumise järele trassikoridorides kraavi kallastel, et tagada taastamistöodel paisude ehitamisel ligipääs kraavidele. Puittaimestik ei ole jagatud eraldi kategooriatesse, sest puittaimestik projektalal on ühesugune ja ei erine ning töövõtted puittaimestiku likvideerimiseks on ühesugused sõltumata puistu suurusest.

Lisaks uuriti 5-10 meetri kaugusel kraavi kaldast turbakihi paksust, kasutades selleks 1,5 meetri pikkust sondvarrast. Turbakihi paksuseks hinnati mõõdetud kohtades vähemalt 1,5 meetri paksuseks. Saadud turbakihi paksuse tulemused ning teostatud turbakihi paksuse mõõtmiskohad kanti joonisele (Graafiline lisa, leht 3).

Fikseeriti ja kontrolliti olemasolevad asbest torudest rajatud ülepääse freesväljaku kuivenduskraavidel ning hinnati nende mõju vee juhtimisele freesväljaku kraavist kogujakraavi (joonis 7). Visuaalselt asbest torusid näha polnud, sest torud olid vee all ja turbapinnas on neile peale vajunud. Nende otsimiseks kasutati sondvarrast. Asbesttorudest ülepääsude asukohad on kantud joonisele (Graafiline lisa, leht 3).



Joonis 7. Vaade lääne-ida suunal, vasakul kuivenduskraav K-4 ja paremal kuivenduskraav K-5.

Alal esines üks asbest torust rajatud ülepääs kraavil K-5, mille dreniv omadus puudus, sest toru oli seest ummistunud.

Põhjapoolselt plokki kooritud turbakihi paksus on hinnanguliselt 30-40 sentimeetrit. Selle tulemuseks tuginemiseks võrreldi visuaalselt maapinna kõrgusandmeid põhjapoolse ja keskmise osa plokkide maapinna kõrgusarvusi (joonis 8). 30-40 sentimeetri kõrgusvahede erinevusi kinnitas ka koostatud maapinnamudel.



Joonis 8. Maapinna kõrguslik erinevus põhja poolisel ja keskosa plokil

Kildemaa jääksoo on looduslikus seisundis olevast rabapinnast madalam, kuid ümbritsevast mineraalmaast kõrgem. Kaevandatud alal jääkturba lasundi ülemise kihi moodustab vähelagunenud rabaturvas. Pealevalguv pinnavesi saab tulla ainult looduslikus seisundis olevast rabast ja sellepärast turba ja vee proove keemiliseks analüüsiks ei võetud.

3. KILDEMAA E HITUSTEHNILINE PROJEKTLAHENDUS

3.1 Projektlahenduse põhimõtted ja piirid

Taastamistööde eesmärgiks oli taastada hüdroloogilinerežiim, mis esines taastataval alal enne turbakaevandamise ja kuivenduskraavide rajamist. Jääksoo lasundi ülemine kiht on vähelagunenud rabaturvas, mis annab eelduse tekitada tingimused rabasuunaliseks taastamiseks.

Vastavalt lähteülesandele jäävad projektala sisse kaks võrdlusala, kus ühtegi tööd ei teostata. Vältitakse vee keemilise koostise muutumist võrdlusaladel tuleb vältida liigvee juurde juhtimist võrdlusalale (Graafiline lisa, leht 3). Võrdlusaladel kujuneb veerežiim looduslikul teel. Võrdlusalad on olulised võimaldamaks tulevikus analüüsida jääksoos toimunud taastumisprotsesse aladel, mille taastumisprotsessidele on kaasa aidatud ning aladel, kus olukord ei muutu. Võrdlusalad jagunevad:

- 1) Idapoolne võrdlusala, mis asub lagedal freesväljakul, kus on turba kaevandamine juba toimunud ning alale on rajatud drenkraavid. Võrdlusala kogupindala on 3,4 hektarit, mis piirneb lõuna poolt kuivenduskraaviga K-34 ja põhjast kuivenduskraaviga K-41 ning idast ja läänest kogujakraaviga K-27.
- 2) Läänepoolne võrdlusala, mis asetseb turba kaevandamiseks ettevalmistatud alal, mis on kaetud puittaimestikuga ja rajatud on turba kaevandamise ettevalmistamiseks kuivenduskraavid. Turba kaevandamist alal pole toimunud. Võrdlusala kogupindala on 3 hektarit, mille piir piirneb põhja poolt kuivenduskraaviga K-18, lõunast kuivenduskraaviga K-24 ning idast ja läänest kogujakraaviga K-25.

Võimaldamaks tulevikus mõõta jääksood läbivate vooluhulkade suurust rajatakse tellija soovil põhjapoolse kogujakraavidele K-27 ja K-25 projektala piirile kolmnurk ülevooluga paisud (Graafiline lisa, leht 8). Kõik ülejäänud kraavid (välja arvatud kraavid võrdlusalal) suletakse turbapaisudega ning võimaluselt tõstetakse kraavi ka rabale ebaloomulik pinnas

ja ebatasasuste likvideerides saadud pinnas. Läänes eraldiseisev projektala (Joonis 4.) sees olev kraav suletakse samuti.

Läänepoolse kooritava ploki pindala, mida 10 cm alandatakse on 5,9 hektarit ja idapoolse ploki pindala 3,4 hektarit.

3.2 Programmi SAGA kasutamine valgalade määramisel

SAGA on lühend ingliskeelsest programmi nimest „*System for Automated Geoscientific Analyses*“ ehk automatiseeritud geoteaduslike analüüside süsteem. Programmi loomise idee tekkis 90-ndatel aastatel Göttingeni ülikooli füüsika ja geograafia osakonnas ja esimene versioon sai valmis aastal 2004. SAGA on tänapäeval ülemaailmselt tuntud geoandmete analüüsimise ja geoteaduslike mudelite koostamise tarkvara. Programm võimaldab kasutada rohkem, kui kuut sadat erinevat töövahendit töötamiseks maapinnamudelite analüüsimisel ja modelleerimisel. Programm on loodud GIS platvormile, mis tagab lihtsalt erinevate kõrgusandmete töötlemise võimaluse (Conrad *et al* 2015).

Modelleerimise eesmärk on võrrelda kahe erineva olukorra hüdroloogilist režiimi Kildemaa jääksoos. Esimeseks olukorraks on olemasoleva ala hüdroloogiline režiim ja teiseks on taastamisjärgne olukord. Eesmärgiks on ka tagada jääksoos taastamisjärgselt võimalikult efektiivne võimalikult efektiivselt veerežiimi liikumine ja hoidmine. Selleks suunates paisude ja vallide abil kraavidest vee voolu suund tagasi taastavale alale. Oluline on ka määrata ära valgalade pindalade muutumine, mis kirjeldab taastamisjärgset olukorda.

Vooluhulka SAGA mudelis voolujoonte peal kirjeldab pikslite arv (visuaalselt nähtav sinine joon on suurema vooluhulga puhul tumedam). Mida suurem on pikslite arv seda rohkem vooluvett mudelis antud asukohta on koondunud. Alamvalgalade piiri moodustab alal koondunud pikslite arv. Käesolevas töös on iga alamvalgala moodustatud 100 000 piksli koondumise järel.

SAGA tekitab pinnamudeli alusel valgalad, toob graafiliselt välja iga valgala kohta tema kõige madalama koha – vooluakumulatsioonijoone, mille jämedus iseloomustab võimalikku kogunevat vooluhulka. Programm võimaldab modelleerida maastikule paigaldatud tõkestusrajatiste või mullatööde tulemusel reljeefi muutustest mõjul tekkinud

uute valgalade piire ning voolusuundasid. SAGA-ga modelleerimine kiirendab projekteerimist.

3.3 Olemasolevate valgalade ja vooluakumulatsioonijoonte määramine

Projekteerimise ja äravoolu tee modelleerimise aluseks loodi esmalt olemasolevat reljeefi ja kraavivõrku kirjeldav pinnamudel, mille loomiseks kasutati Maa-ameti geoportaali kaartiserveri LiDAR andmeid, mis on avalikult alla laetavana kätte saadavad. Töödeldatavateks andmeteks valiti 2014 aasta kevadisel tavalennul mõõdistatud punktid. Allalaetavate kaardilehtede numbriline jaotus mõõtkavas 1:2000 on välja toodud joonisel 9.

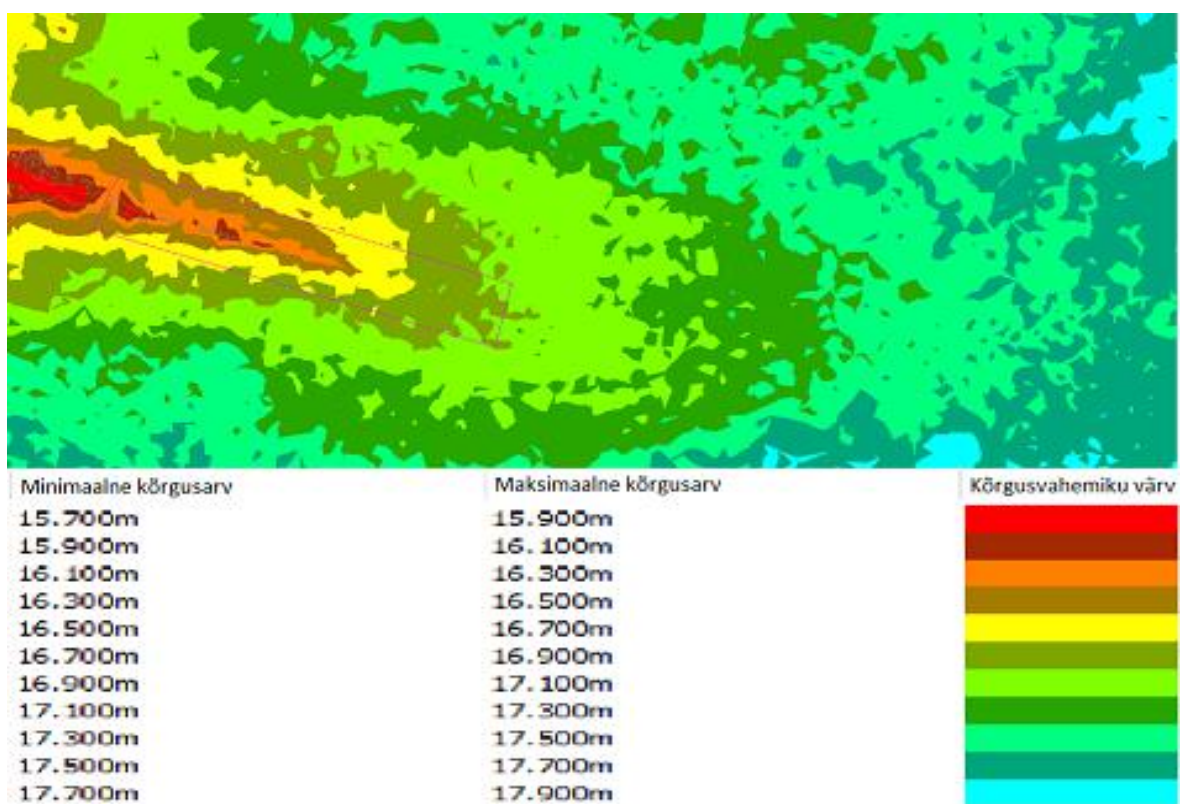


Joonis 9.LiDAR kaardilehtede jaotus 1:2000 (Maa-ameti geoportaal)

Alla laetud LiDAR punktipilv sisaldab erinevaid kõrgusandmeid, milleks on maapind, ehitised, veepinnad jne. (Maa-amet). Punktipilvest eraldati maapinna kõrgusarvud muudest punktidest selleks kasutades Las Toolsi rakendust Las2Las. Las Tools on vabavarana alla laetav tarkvara mahuka LiDAR punktipilve eraldi kihtide töötlemiseks, mis eraldab hõlpsalterinevate kihtide kõrgusandmed (rapidlasso).

Järgmiseks avati Las Toolsis töödeldud fail Autodesk ReCapis, kus maapinna kõrguspunktid muudeti sobivaks failiks avamaks see Autocad Civil 3Ds. Autodesk ReCap on Autocad Civil 3D litsensiga kaasa tulev lisaprogramm, mis on mõeldud LiDAR punktipilve töötlemiseks.

Autocad Civil 3Ds koostati töödeldud punktipilvest maapinna mudel, mis on sobiv avamaks ja töötlemiseks programmis SAGA. Näitena on joonisel 10 esitatud fragment 20 cm kõrgusastmetega mudelist.



Joonis 10. Maapinna kõrguslik mudel Civil 3D, eraldi seisev projektala läänes.

Kuna kuivenduskraavid on ummistunud otsadreenide tõttu vett täis. Loodud maapinnamudelil puuduvad andmed olemasolevate kraavide sügavuste ja asukohtade kohta. LiDAR punktipilves olevaid kraavi põhjakõrgusandmeid ei kasutatud, sest need ei kirjelda igat kraavi.

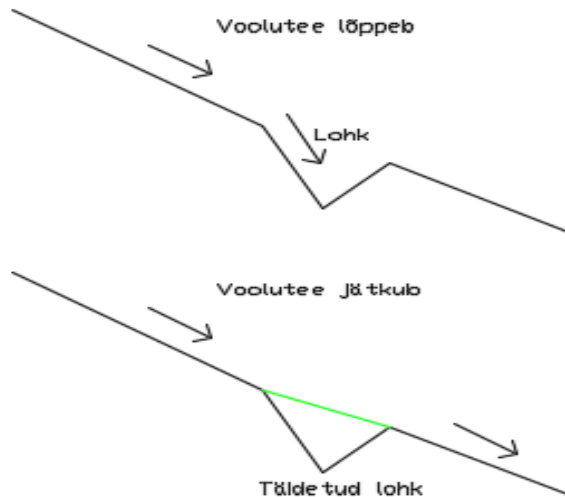
Reaalselt kraavid eksisteerivad ning vee voolamise mudeli tõepäraseks toimimiseks on pinnamudelisse lisatud mõõdistatud koordinaatide järgi kahe tüüpsügavusega kraavid. Kraavide tüübid jaotati tegeliku sügavuse järgi kahte kategooriasse:

- 1) Projektala välised kraavid, projektala sisesed eesvoolud ning freesväljaku kuivenduskraavid, mille keskmiseks sügavuseks arvestatakse maapinnast 1,8 meetrit.
- 2) Funktsioneerivad kraavid freesväljaku lõunapoolses osas ja keskel ning eraldi seisvaid projektalasi läbivad kraavid, mille sügavus ei ületa 0,5 meetrit arvestatakse keskmise sügavusega 0,2 meetrit maapinnast.

Kraavide liitmiseks oli esmalt vaja tekitada kraavide kihid SAGA-s (*Shapes to grid*), mis ühtiks digitaalse maapinnamudeliga SAGA-s. Maapinnamudel ja kraavide kihid vastavalt tüübile liideti kokku ükshaaval. Iga järgnev kraavikiht liidetakse eelnevalt saadud maapinnamudelile (*Burn Streams Network into DEM*), kuhu kraavid sisse kõrvetativastavalt kraavitüübi keskmise sügavuse väärtusele. Kraavide liitmine alandab maapinna kõrgusarve kraavide asukohas vastavalt väärtusele.

Programm SAGA visualiseerib maapinna mudeli mikroreljeefi põhjal vooluakumulatsioonijooned, muutes pildi raskesti loetavaks ja edasiseks kasutuseks töödeldavaks. Selle olukorra vältimiseks on programmis tööriist *Fill sinks*.

Maapinnamudeli silumise tegemata jätmise korral, voolujoonte koostamisel tekivad ebatäpsused, milleks on vee voolujoonedliiguvad vales suunas, vee voolujoon katkeb lohku liikudes ning voolujooned muutuvad joonisel arusaadavalt loetamatuks. (Joonis 11). Maapinna ebatasasused ei kaotata ära täielikult, sest see võib muuta maapinnareljeefi, mis ei vasta tegelikule olukorrale ning võib ära kaotata maapinnamudelisse liidetud kraavipõhjade sügavused.



Joonis 11. Fill sinks käskluse põhimõte (Saga GIS tutorials)

Olemasolevate valgalade ja vooluakumulatsioonijoonte määramiseks loodi esmane maapinnamudel, mis kirjeldab hetkelist olukorda. Modelleerides voolujooned liiguvad vastavalt reljeefile kõrgemalt madalamale. Saadud vooluakumulatsiooni joonte ja maapinna reljeefi järgi koostatakse alamvalgalade ja valgalade piirid. Valgalade ja alamvalgalade piirid kanti projektplaanile, mis kirjeldab olemasolevat olukorda (Graafiline lisa, leht 2).

3.4 Veerežiimi taastamise projekteerimine

Paisude asukoha projekteerimise aluseks on maapinna mudel. Veerežiimi taastamiseks kavandatakse kaevandatud mineraliseerunud turba likvideerimine alalt ja sellega täidetakse kuivenduskraavid. Taastamisalal tehtavad tööd veerežiimi taastamiseks jagunevad sarnaselt punktis 2.1 ala seisundi järgi kolme kategooriasse:

- 1) Turvast kaevandatud alal kooritakse mineraliseerunud turbakiht, likvideeritakse kraavid ja kraavivallid ning rajatakse paisud ja pinnasvallid.
- 2) Eelkuivendusega alal rajatakse kraavidele pinnaspaisud ja pinnasvallid
- 3) Loodusliku taimestikuga alal rajatakse kogujakraavidele pinnaspaisud.

Kildemaa jääsoo veerežiimi korrastamisel likvideeritakse olemasolevad kogujakraavid ja kuivenduskraavid. Nende kraavide täitmiseks kasutatakse mineraliseerunud turvast.

Kraavide mahuarvutus on välja toodud lisa 2. Kraavide mahu ja kooritava pinnase mahu arvutus on välja toodud tabelis 2.

Tabel 2. Kooritava mineraliseerunud turba maht.

	Kooritava ala pindala (m ²)	Kooritava kihi paksus (m)	Mineraliseerunud turba maht (m ³)	Kooritava ala asuvate kraavide maht (m ³)	Mahu ülejääk (m ³)
Lääne poolne freesväljak	59000	0,1	5900	5310	590
Ida poolne freesväljak	34000	0,1	3400	3280	120

Märkused:

Ülejääv maht tõstetakse ühtlaselt kraavide peale, 0,9 m laiune ja 0,15m kõrguse kihina.

Loodusliku reljeefi tagamiseks tõstetakse kraavidesse ka ülejäänud pinnasmaterjal, mida paisu ehitamiseks kasutada ei kõlba. Selleks on eelkuivendusega alal olemasolevad kraavivallid ja ettevalmistatud kaevandusalal inimtegevuse tagajärjel tekkinud kühmused.

Eelkuivendusega alal kraavide täielikuks täitmiseks ei piisa selle kõrval olevast vallist, kraavivalli vajumise tõttu. Kraavivalli materjali tuleb kasutada valli ümbritsevate paisude rajamiseks. Paisude rajamiseks on vaja ligikaudu 5500 m³ pinnast (Lisa 3). Kraavivallidest saadav pinnas moodustab vajaminevast kogusest ligikaudu 20% (Tabel 3). Puudu olev vajaminev pinnas võetakse paisu rajamisel kraavist ülesvoolu.

Tabel 3. Kraavivallide mullatööde maht.

Kraavi tähis	Valli pikkus (m)		Valli laius (m)		Valli kõrgus		Mullatööde arvestuslik maht m ³
	parem	vasak	parem	vasak	parem	vasak	
K-25		327		4		B	490
K-27	432		4		A		220
K-29	120		4		A		60
K-31	120		4		A		60
K-32	120		4		A		60
K-33	120		4		A		60
Kokku:							950

Märkused:

A - kõrgus vahemikus kuni 0.5m

B - kõrgus vahemikus 0.5-1.0m

Kõikidele kraavitüüpidele (ka täidetud kraavidele) rajatakse pinnaspaisud ja vee liikumise tõkestamiseks/suunamiseks risti väljakuid pinnasvallid.

Paisude ja pinnasvallide rajamise asukohtade määramiseks kasutati maapinna kõrgusmodelit Civil 3Ds, kus rajati samakõrgusjooned iga 20 cm langu kohta ning esialgu saadud tulemust peatükis 3.3, mis kirjeldas veevoolujooni. Iga samakõrgusjoone juurde rajatakse risti kuivenduskraaviga ja eesvooluga (vooluakumulatsioonijoonega) pais. Lisaks rajatakse pinnaspaisud freesväljakute kraavide otstesse. ja eesvooludele kogujakraavidele, mis täidetakse mineraliseerunud pinnasega. Freesväljakute alal, kus kraavid täidetakse mineraliseerunud pinnasega, rajatakse samuti pinnaspaisud iga 20 cm maapinna languse kohta.

Pinnaspaisud on projekteeritud trapetsikujulise ristlõikega (nõlvustegur 1,5) keskmise pikkusega 15 meetrit (välja arvatud pais 1, mis on 75 m), horisontaalse harja laiusega 1 meeter ja kõrgusega 0,7 meetrit kraavi kaldast. Laius on 1 meeter ja kõrgus kraavi kaldast samuti 0,7 meetrit. Pikkus sõltuvalt pinnasvalli asukohast koordinaatide järgi on toodud tabelis (Lisa 3) ja asukoht skemaatiliselt märgitud joonisele (Graafiline lisa, leht 4).

Eesvoolukraavidel K-25 ja K-27 rajatakse vahetult projektala piirile mõõteüle vooluga paisud (täpsemalt punktis 3.6).

Vältimaks vee liikumist võrdlusalale ja vee liikumist üle vooluga paisudest eemalt ning soodustadav vee liikumist kraavist tagasi jääksoole rajatakse vee liikumissuuna tõkestamiseks turvaspinnasest vallid. Need on projekteeritud trapetsikujulise ristlõikega (nõlvustegur 1,5) pikkused on esitatud tabelis (Lisa 3), horisontaalse harja laiusega 1 meeter ja kõrgusega 0,7 meetrit kraavi kaldast. Laius on 1 meeter ja kõrgus maapinnast samuti 0,7. Pinnasvallide asukohad on välja toodud joonisel (Graafiline lisa, leht 4).

Paisude asukohtade hindamiseks on ratsionaalsem kasutada samakõrgusmodelit, kui iga kraavi kohta pikiprofiili, sest selle kasutamine on ajakulukam, ning pikiprofiil ei pruugi anda ülevaadet ümbritsevast alast (joonis 10).

3.5 Valgalade ja vooluakumulatsioonijoonete määramine taastatud olukorras

Paisude asukoha ja efektiivses või toimimise kontrolliks tehti programmiga SAGA projekteeritud lahenduse jaoks samad punktis 3.3 kirjeldatud tegevused. Taastamisjärgse olukorra kirjeldamiseks kasutati samasuguseid lähteandmeid nagu olemasoleva olukorra kirjeldamiseks, milleks on LiDAR andmetest koostatud maapinnamudel. Pinnamudelit muudeti Civil 3Ds vastavalt eeldatavale taastamisjärgsele olukorrale, kus maapinna kõrgusarve alandati 10 cm võrra freesväljakute alal, kus on ette nähtud mineraliseerunud turba koorimist 10 cm paksuse kihi ulatuses.

Kraavid jagati eeldatava sügavuse järgi nelja erinevasse kategooriasse, mis kirjeldaksid taastamisjärgset kraavide olukorda kõige paremini. Kraavid jagunevad:

- 1) Projektala välised kraavid, mille keskmiseks sügavuseks arvestatakse 1,8 meetritmaapinnast.
- 2) Projektala sisesed kraavid, mis täidetakse pinnasega, mis tulevikus vajudes jäävad kergelt lohku, nende sügavuseks arvestatakse keskmiselt 0,3 meetrit maapinnast.
- 3) Projektala sisesed kraavid, mida ei täideta või täidetakse minimaalselt ning mille sügavus pärast taastamistöid ei muutu oluliselt ning võrdlusalade kraavid, arvestatakse keskmiseks sügavuseks 1,6 meetrit maapinnast.
- 4) Projektala sisesed kraavid freesväljaku lõunapoolses osas ja keskel ning eraldi seisvaid projektalasi läbivad kraavid, mille sügavus ei ületa 0,5 meetrit arvestatakse keskmise sügavusega 0,2 meetrit maapinnast.

Eeldatava taastamisjärgse olukorra modelleerimise kirjeldus on toodud välja sarnaselt hetkelisele olukorra modelleerimisele peatükis 3.3 kunikraavide sisse põletamiseni kõrgusmudelisse kaasa arvatud. Kraavidega maapinnamudeli silumise protsess teostati pärast lõpliku maapinnamudeli valmimist koos paisudega, mis vastab eeldatavale taastamisjärgsele olukorrale. Eeldatava projektjärgse olukorra modelleerimiseks kasutati uut maapinna kõrgusmudelit ning uusi kraavide kihte, mis on eelnevalt jagatud nelja kategooriasse.

Saadud sobivate paisude kaardikiht Autocad Civil 3Ds teisendati see sobivaks failitüübiks ja avati see programmis SAGA. Esmalt muudeti paisude kaardikiht sobivaks töötlemaks seda programmis SAGA. Järgmisena leiti maapinna maksimaalne kõrgusarvu paisu all,

mille järgi dimensioneeriti paisu kõrgus. Paisu kõrguse määramiseks maapinnast (f_2) kasutatakse valemit $f_2+0,7$, mis tähendab et paisu kõrgus on maapinna maksimaalsest punkti järgi 0,7 meetrit kõrgem. Järgnevalt muudeti paisude kaardikiht sobivaks liitmaks see kraavidega maapinnamudeliga, ning teostati kraavidega ja paisudega maapinnamudeli silumine vastavalt peatükis 3.3 kirjeldatule. Järgmiseks koostati vooluakumulatsioonijooned ning määrati nende järgi valgalad ja alamvalgalad samuti nagu punktis 3.3 kasutades uut töödeldud pinnamudelit paisudega.

Voolujoonte mitte sobiliku lahenduse korral korraldati paisude ja vallide lisamise protsessi uuesti kasutades viimati saadud vooluakumulatsiooni joonte kaarti seni, kuni saavutati sobilik lahendus vooluakumulatsioonijoonete liikumise suund. Sobilikuks lahenduseks saab lugeda olukorda, kus voolujooned liiguvad üle ülevoolupaisude ning ei läbi võrdlusalasid ja voolutee on pikenenud (Graafiline lisa, leht 6). Saadud vooluakumulatsioonijooni võrreldi esialgsete tulemustega. Sobiliku lahenduse korral on vooluakumulatsiooni jooned pikemad kui esialgse olukorra jooned. Saadud lõpliku tulemuste järgi modelleeriti taastamisjärgse projektala valgalad ja alamvalgalad, ning kanti need projektplaanile, et võrrelda neid taastamiseelsele olukorrale.

3.6 Ülevoolu paisude projekteerimine

Ülevoolupaisud projekteeriti vastavalt lähteülesandele ning neid on vaja, et mõõta tulevikus alalt voolavat vee hulka. Valitud on täisnurkne kolmnurk ülevool. Kolmnurk ülevoolu dimensioneerimiseks on vaja teada maksimaalset vooluhulka.

Eestis puudub süstemaatiline vaatlusvõrgustik raba tingimustes äravoolu mõõtmiseks. Käesolevas töös on aluseks võetud K.Hommiku meetodika. Hüdrotehniliste ehitiste kontrollarvutused arvutatakse 1% aasta maksimaalse ületus tõenäosuse järgi

Kevadise äravoolumooduli arvutamise lähteandmeteks kasutati projektijärgse olukorra valgalade pindalasid. Idapoolse kogujakraavi K-27 eeldatav valgala pindala vahetult projektala piiri juures on pärast taastamistööd $0,25 \text{ km}^2$, ning läänepoolse kogujakraavi K-25 valgala pindala on $0,55 \text{ km}^2$. Kevadise maksimaalseäravoolumooduli arvutamiseks kasutatava valem (1.1) arvestab valgala soisuse, metsasuse ja kuivenduse mõju parameetreid (1.2). (Soovik, Tammaru 1989).

Kevadise maksimaalse äravoolumooduli arvutusvalem (1.1) (Soovik, Tammaru 1989).

$$q_{kev.maks\ p\%} = q * \left[\frac{112 - 52 * \log(p+1)}{(A+1)^{0,14}} \right]^{1 - k_{95\%} - r}, \quad (1.1)$$

kus $q_{kev.maks\ p\%}$ on kevadine maksimaalne äravoolumoodul l/s*km²

q - äravoolunorm, l/s*km²;

p - ületustõenäosuse protsent (1%);

A - valgala pindala (100%);

$k_{95\%}$ - päevakeskmise äravoolu moodulkoeffitsient (0);

r - metsasuse, soisuse, kuivenduse mõju arvestav parameeter, mis arvutatakse valemist (1.2).

$$r = 0,004 * [A_{ms} + 0,4 * (A_r + A_{km}) + B + 0,2 * C] - 0,2, \quad (1.2)$$

kus A_{ms} - madalsoode ja soometsade pindala kogu valgala pindalast (%)

A_r - rabade pindala kogu valgala pindalast (%)

A_{km} - kuivendatud madalsoode pindala kogu valgala pindalast (%)

B - metsastunud ala mineraalmullal, ala pindala kogu valgast (%)

C - lagedate mineraalmuldadega ala pindala kogu valgast (%)

Äravoolunorm q leitakse valemist 1.3.

$$q = q_k + \Delta q, \quad (1.3)$$

kus q_k - aastane kliimaatiline äravoolunorm, kildemaa jääksoo alal 9, l/s*km²;

Δq - aasta kliimaatiline äravoolunormi parandusliige, l/s*km².

Aastane kliimaatiline äravoolu parandusliige, mis arvestab Kildemaa jääksoo parameetreid äravoolule leitakse valemist 1.4.

$$\Delta q = 0,02 * a + 0,3 * q_{95\%} - 1, \quad (1.4)$$

kus a - metsastunud, võsastunud mineraalma ja kuivendatud madalsoode pindala valgala pindalast, %;

$q_{95\%}$ - päevakeskmise äravoolumoodul, Kildmaa jääksoos 0,5.

Vooluhulk, mis läbib lääne ja idapoolset paisu arvutatakse valemist 1.5.

$$Q = q_{kev.maks\ p\%} * A, \quad (1.5)$$

kus $q_{kev.maks\ p\%}$ - on kevadine maksimaalne äravoolumoodul, l/s*km²

A - valgala pindala, km².

Väikeste vooluhulkade täpseks mõõtmiseks on sobilik kasutada kolmnurk profiiliga ülevoolu. Täisnurkse kolmnurkülevoolu profiili arvutamiseks kasutatakse Horace Kingi valemit (Maastik *et al* 1995) (1.3).

$$Q = 1,343 * H^{2,47}, \quad (1.6)$$

kus Q - vooluhulk, m³/s;

H - kolmnurkülevoolu kõrgus, m.

Metsasuse, soisuse, kuivenduse mõju arvestav tegur, lääne ja idapoolse ülevoolu paisu äravoolumooduli arvutamiseks arvutatakse valemist 1.2.

$$r = 0,004 * [0 + 0,4 * (0 + 100) + 0 + 0,2 * 0] - 0 = -0,04,$$

Äravoolunormi arvutamiseks on vaja leida äravoolunormi parandusliige, mis arvutatakse valemist 1.4.

$$\Delta q = 0,02 * 100 + 0,3 * 0,5 - 1 = 1,15 \text{ l/s*km}^2$$

Äravoolunorm taastaval alal on 10,15 l/s*km², mis leiti kasutades valemit 1.3.

$$q = 9 + 1,15 = 10,15 \text{ l/s*km}^2$$

Äravoolumoodul Kildemaa jääksoos leiti valemiga 1.1.

$$q_{kev.maks\ 1\%} = 10,15 * \left[\frac{112 - 52 * \log(1+1)}{(100+1)^{0,14}} \right]^{1-0-(-0,04)} = 599,6 \text{ l/s*km}^2$$

Vooluhulk, mis läbib läänepoolset kolmnurkülevooluga paisu 1% ületustõenäosusega on 330 l/s, ja vooluhulk, mis läbib idapoolset paisu 1% ületustõenäosusega on 150 l/s, mis on leitud valemist 1.5.

$$Q_{läänepoolne} = 599,6 * 0,55 = 330 \text{ l/s}$$

$$Q_{idapoolne} = 599,6 * 0,25 = 150 \text{ l/s}$$

Ülevoolupaisu täisnurkse kolmnurkprofiili kõrguse arvutamiseks kasutatakse valemit 1.6.

$$H_{L\ddot{a}äne\ poolne} = \left(\frac{0,330}{1,343}\right)^{\frac{1}{2,47}} = 0,566 \text{ m}$$

$$H_{Ida\ poolne} = \left(\frac{0,150}{1,343}\right)^{\frac{1}{2,47}} = 0,412 \text{ m}$$

Täisnurkse ülevoolu profiili pealtlaius on lääne poolsel ülevoolul 1,132 meetrit ning kõrgus 0,566 meetrit ja ida poolsel ülevoolul pealtlaius 0,824 meetrit ning kõrgus 0,412 meetrit. Vastavate tulemustega on koostatud ülevoolupaisu tehniline joonis (Graafiline lisa, leht 8).

3.7 Taastamisjärgse olukorra tulemused

Kildemaa jääksoo kraavi K-25 ja K-27 valgalade pindala projektala põhjapoolse piiri juures on 0,42 km² ja 0,28 km² (Graafiline lisa, leht 2). Taastamisjärgses olukorras on ida poolne valgala vähenenud lõuna osas kraavide sulgemise tõttu. Veetaset paisude mõjul tõstes liigub vesi mööda maapinda Vaskjõkke ja osa valgalast liitub läänepoolse osaga, varasemalt voolas vesi mööda kraavi põhja suunas. Taastamisjärgses olukorras on valgalade pindalad vastavalt ida poolne 0,55 km² ja läänepoolne 0,25 km² (Graafiline lisa, leht 6).

Vooluvee teekond taastamisala ja ümbritseval alal on pikenenud projektijärgses olukorras (Graafiline lisa, leht 6) võrreldes taastamise eelse olukorraga (Graafiline lisa, leht 2). Pinnavesi liigub kraavi rajatud paisude ja pinnasvallide mõjul alale, kus on toimunud turba kaevandamine. Eelkuivendusega ja loodusliku taimestikuga alal juhitakse vesi paisu mõjul kraavist eemale, kuid pärast paisu liigub vesi tagasi kraavi ja mööda kraavi järgmise paisuni (Graafiline lisa, leht 6).

Turvast kaevandatud alal oleva ja eelkuivendusega alal oleva võrdlusalade liigvett juurde ei juhita. Läänepoolsel võrdlusalale väldib vee juurdevoolamist olemasolev kuivenduskraav K-24, mida pinnasega ei täideta, ning millele paise ei rajata. Ida poolsele võrdlusalale piirile, kraavi K-34 kohale rajatakse pinnasvall, mis takistab vee liikumist võrdlusalale (Graafiline lisa, leht 6).

3.8 Ehitustööde mahud ja tööde korraldamine

3.8.1 Ehitustööde mahud

Taastamistööd alustatakse kujundusraiega, puittaimestiku raadamisega kraavitrassidel ja paisu ning vallide asukohtades. Sellega tagatakse vajalikud ligipääsud järgmise etapi töödeks. Raadatud puutüved tuleb alalt välja vedada ning järgnevalt teostatakse kraavivallide likvideerimine, kraavide kinnitõstmine ning paisude ehitamine. Kavandatud tööde loetelu ja mahud on välja toodud tabelis 4.

Tabel 4. Kavandatud töömahtude koondnäitajad

Jrk. Nr	Töö nimetus	Möötühik	Maht KOKKU
1	Raadavate trasside mahamärkimine	km	0,37
2	Metsa likvideerimine mootorsaega	ha	20,24
3	Kändude juurimine paisude aluselt	ha	0,26
4	Paisude mahamärkimine (GPS)	tk	130
5	Tüvede vedu koondamine	ha	20,24
6	Ligipääsutrassi rajamine paisu 12 juurde	km	0,25
7	Kraavide sulgemine freesväljaku pinnasest	1000m ³	8,49
8	Vanade kraavivallidega kraavide sulgemine	1000m ³	0,95
9	Sette eemaldamine ehitatavate turbapaisude alt (1m ³ /pais)	1000m ³	0,13
10	Paisude aluse tagasitäide ja tihendamine (5m ³ /pais)	1000m ³	0,65
11	Turbapaisude ehitamine tüüp I	1000m ³	3,08
12	Turbapaisude ehitamine tüüp II	1000m ³	1,10
13	Pinnasvallide ehitamine	1000m ³	1,27
14	Ülevoolupaisude ehitamine tüüp III	tk	2
15	Olemasolevate asbest torudest ülepääsude läbikaevamine	tk	19
16	Metsaaluste kühmude silumine ja materjali kraavi tõstmine	ha	5,6

Koondmahtude tabel on kokku pandud koondülevaate andmiseks tehtavatest töödest. Koondmahtude andmed on kokkuvõtte erinevate mahutabelite kogusummast.

3.8.2 Ettevalmistavad tööd

Taastamisalal eeltöödena tuleb suletavatel kraavidel viia läbi trassiraie ja raadamine. Raietööde eesmärgiks on taastada rabale iseloomulikult hõre ja madalate puittaimestikuga ala. Raietööd on planeeritud ala põhja ja keskosale (Graafiline lisa, leht 7). Ala lõunaosa on loomuliku ilmega ning seal raietöid ei teostata. Lisaks tuleb raietööd teha vallidel, ja tee muldel, kus on levinud rabale mitte iseloomulikud puittaimed. Kujundusraie alal tuleb alles jätta vaid hõredalt rabale iseloomulikud männid ja kased, mis on väikesekasvulised ning jändrikud. Kännud tuleb vallidelt ja paisude ning vallide asukohas juurida, mujal jäävad kännud alles, kuid puude raiumine peab toimuma võimalikult maapinna lähedalt ning mitte kõrgemalt, kui 20 cm maapinnast.

Taastamisalale on tagatud hea ligipääs mööda kruuskattega teed ja eraldi ligipääsutrassi ei ole vaja rajada (Graafiline lisa, leht 5).

Raie tööde mahud on välja toodud tabelis (Tabel 5) ning raadamise ja trassiraie asukohad on märgitud joonisel (Graafiline lisa, leht 7).

Tabel 5. Raie te koondmahud

Kraavi tähis	Trassi pikkus (m)		Trassi laius (m)		Raie paisude asukohas (m ²)	Kujundusraie kokku (ha)	Raie kokku (ha)
	parem	vasak	parem	vasak			
K-25					80		0,01
K-26	84	151	6	6	40		0,15
K-27		138		6	80		0,09
Kujundusraie kaevandatud ja kaevandamiseks ettevalmistatud alal						20	20,00
Kokku:							20,24

Raiejäätmed veetakse taastamisala keskele tee juurde ning sealt hiljem viiakse puittaimestiku jäätmed alalt välja. Kindlasti ei tohi raadatavat puitmaterjali kasutada paisude ehitamiseks, ning nende likvideerimiseks ei tohi neid taastamisalal põletada. Raiutud puutüvedest võib rajada ajutisi ülepääse kraavidele, kuid peale taastamistöid peab need likvideerima. Raie tööd tuleb teostada soodsa ilmastikuga ajal, milleks on talvine aeg. Raie töid ei tohi teha lindude pesitsusajal, mis kestab 1 aprillist 15 juulini.

3.8.3 Kraavide sulgemine

Taastataval alal kavandatakse osade kuivenduskraavide kinnitõstmine, mis on märgitud graafilises lisas 4. Mineraliseerunudturvast kooritakse freesväljakute alal 10 cm paksune kiht ning seda materjali kasutatakse freesväljakutel drenkraavide täitmiseks, ning kogujakraavide täitmiseks, mis piirnevad kooritava ala piiriga. Lisaks tõstetakse kraavi täiteks ka või kasutatakse paisude ehitamiseks (Graafiline lisa, leht 4) märgitud kraavivallid ning metsastunud alal inimtekkelised kühmud, vältida tuleb mätaste likvideerimist, mis on looduslikult tekkinud. Kraavide sulgemiseks kasutatakse ka ehitatavaid paise, mille eesmärk on veetaset kraavis depressioonilehtri paisutada ning kraavist vesi eemale juhtida tagasi raba alale. Vältimaks maapinna liigset ülesekaevamist ei võeta turbapaisu ehitamiseks materjali alalt, mille ümber on turbakihi paksus väiksem kui 1 meeter või kraavi kaldal puudub kraavivall. Likvideeritavate kraavivallide mahud on esitatud tabelis 3 ning pinnasega suletavad kraavid ning mahud lisas 2. Paisude mahamärkimiseks on paisude keskkoha koordinaadid ja pinnasvallide otste koordinaadid välja toodud tabelis (Lisa 3).

3.8.4 Pinnaspaisude ja vallide ehitamine

Paisud jagunevad kolme erinevaks tüübiks. Tüüp I ja tüüp II paisud (Graafiline lisa, leht 9) on pinnaspaisud, mille pikkus on 15 meetrit ja pealtlaius 1 meetrit. Tüüp I paisu kasutatakse drenkraavide sulgemiseks ja väikeste kogujakraavide sulgemiseks. Tüüp II paise kasutatakse sügavamate kogujakraavide sulgemiseks. Tehnoloogiliselt on tüüp I ja tüüp II paisud samasugused ja erinevad vaid mõõtmetelt. Tüüp III paisud on kolmnurkülevooluga paisud, mida on projektalal kaks tükki, mis on projekteeritud 20 meetri pikkustena. Kolmnurkülevoolu paisude eesmärk on võimaldada mõõtmaks vooluhulkasi raba väljavoolul. Neljandaks tüübiks võib lugeda pinnasvalli, mis rajatakse takistamaks vee liikumist võrdlusalale, ülevooluga paisust mööda ning pikendades vee teekonda suublani. Pinnasvalli pikkus sõltub vastavalt pinnasvalli asukohast ja eesmärgist. Pinnasvallid ehitatakse sarnaselt pinnaspaisule (Graafiline lisa, leht 9). Pinnaspaisude on projekteerimise vastavalt maapinna iga 20 cm langu kohta ja kõikide drenkraavide otstele sõltumata maapinnalangust. ülevoolupaisud on projekteeritud kogujakraavide lõppu

vahetult projektala piiri juurde. Paisude rajamise materjali koondmahud on esitatud tabelis (Tabel 6).

Tabel 6. Paisude rajamise materjali koondmahud

Paisu tüüp	Materjal	Ühik	Tööde maht
Tüüp 1	Kogus	tk	96
	Turvas	m ³	3080
Tüüp 2	Kogus	tk	26
	Turvas	m ³	1100
Tüüp 3	Kogus	tk	2
	Turvas	m ³	110
	sulundsein	m	40
Vall	Kogus	tk	6
	pikkus	m	840
	Turvas	m ³	1270
Kokku	Kogus	tk	130
	Turvas	m ³	5560
	Sulundsein	m	40

Pinnaspaisude ja vallide rajamisel tuleb materjali kasutades eristada kahte põhilist tüüpi. Pealmist kuiva kihti ehk halvasti lagunenenud turbakihti ning alumist märga hästi lagunenenud turba kihti. Kahe erineva kihi erinevust on märgata visuaalselt, alumine märjem turvas on kuivemast tumedama värvusega.

Paisu asukohas tuleb kraav puhastada settest. Pealmine kasvukiht kooritakse ettevaatlikult ära ning tõstetakse kõrvale, pinnaspaisu või pinnasvalli materjali võetakse koguses, mis väldiks suure sügava augu tekkimist. Materjali puudumise vältimiseks tuleb turvaspinnast võtta ümbruskonnast rajatud aukude suhtes nihkega. vältides sirgjoones aukude või lohku tekkimist. See on oluline Vältimaks uute veevoolu teede tekkimist. Samal põhjusel tuleb pinnast paisu ehitamiseks võtta turbapaisust või pinnasvallist ülesvoolu. Turbapaisuehitamisel tuleb paisu ja materjali ammutatud lohud täita kooritud kasvupinnasega.

3.8.5 Muud tööd

Muude töödena nähakse ette asbest torudest rajatud ülepääsude drenivate omaduste kõrvaldamist (Graafiline lisa, leht 4), mis näeb ette ülepääsude otste läbikaevamist ja kaevatud pinnase tagasitäitmist ja tihendamist (Tabel 7). Töö torude likvideerimist ette ei näe, likvideeritakse vaid need asbest torudest jäätmed, mis satuvad kaevetööde käigus maapinnale või mida on visuaalselt kraavis näha. Vastavalt kehtivale Jäätmekäitlusseadusele liigitatakse asbest ohtlikuks ehitusjäätmeks. Asbest materjalist jäätmete utiliseerimise lähtuda kehtivast Jäätmekäitlus seadusest.

Tabel 7. Likvideeritavate asbest torude mahud

Jrk. nr	Kraavi nr	Likvideeritav toru			Märkused
		ülepääsu kogupikkus (m)	likvideeritav pikkus (m)	kaevemaht (m ³)	
1	K-2	10	2	4	Otsad läbi kaevata
2	K-3	10	2	4	Otsad läbi kaevata
3	K-4	10	2	4	Otsad läbi kaevata
4	K-5	10	2	4	Otsad läbi kaevata
5	K-6	10	2	4	Otsad läbi kaevata
6	K-7	10	2	4	Otsad läbi kaevata
7	K-8	10	2	4	Otsad läbi kaevata
8	K-9	10	2	4	Otsad läbi kaevata
9	K-10	10	2	4	Otsad läbi kaevata
10	K-11	10	2	4	Otsad läbi kaevata
11	K-12	10	2	4	Otsad läbi kaevata
12	K-41	10	2	4	Otsad läbi kaevata
13	K-42	10	2	4	Otsad läbi kaevata
14	K-43	10	2	4	Otsad läbi kaevata
15	K-44	10	2	4	Otsad läbi kaevata
16	K-45	10	2	4	Otsad läbi kaevata
17	K-46	10	2	4	Otsad läbi kaevata
18	K-47	10	2	4	Otsad läbi kaevata
19	K-48	10	2	4	Otsad läbi kaevata
Kokku:		190	38	76	

Kokku likvideeritakse 19 asbesttorust rajatud ülepääsude drenivad omadused. Idapoolsele võrdlusalale jäävad asbest torudest rajatud ülepääsud jäävad puutumata. Kaevemahu

arvutamisel on arvestatud kaeviku sügavuseks 2 meetrit, laius 1 meetrit ja pikkuseks 2 meetrit.

KOKKUVÕTE

Inimtegevuse mõju soode seisundile on olnud suur ja Eestis on looduslikus seisundus soid 350 000 hektarit. Looduskaitse arengukava järgi tuleb Eestis jääksood viia loodusliku veerežiimiga seisundisse. Jääksood on kasvuhoonegaaside atmosfääri paiskumise allikaks, oht rabapõlengutele ja kuivendussüsteemide tõttu väheneb põhjavee varu ning muutub kvaliteet.

Eestis lasub kaevandusala taastamise kohustus kaevandusloa saajal. Aladel, kus puudub kehtiv kaevandusluba (mahajäätud ala) on taastamiseks loodud mitmeid finantseerimisprogramme. Jääksood taastamisel on tehtud kogu maailmas tehtud ulatuslikke teadusuuringuid ja seiret ning saadud tulemused on avaldatud mitmetes juhendites ja aruannetes. Taastamistegevus jaguneb tehniliseks ja bioloogiliseks korrapäraseks. Töös on toodud ülevaade tehnilise taastamise enamlevinud tegevustest ja konstruktiivsetest lahendustest. Kraavide täitmisel tuleb kasutada väikese vee juhtimise omadusega turvast, selle puudumisel pinnast mujalt juurde tuua. Vältida tuleb kraavi toitainet rikka mineraalpinnasega täitmist. Kraavile turvapaisu ehitamisel tuleb kasutada hästilagunendu turvast. Paisu rajamisel ei tohi samuti kasutada mineraalpinnast. Rajamisel tuleb arvestada vee hüdrostaatilist survet ja selleks süvistada pais kraavi nõlva sisse. Puitpaisudel on lühike eluiga, raske montaaž ja suur mass. Turvaspinnase ja puitmaterjali puudumise korral on paisude rajamise lahenduseks sulundseinast rajatud paisud, selle eeliseks on materjali kergus, lihtne paigaldusviis, pikk eluiga ja inertne.

Põhjalikult on välja toodud taastatava ala kirjeldus ja ala iseloomustus. Uurimistööd teostati objektidel ja uuriti ka varasemaid kaarte ning varasemate uurimistööde tulemusi alal. Uurimistöödega fikseeriti olemasolevate kraavide paiknemine, kraavide mõõtmed ja olukord ning fikseeriti dreentorudest rajatud ülepääsude asukohad taastaval alal. Hinnati visuaalselt kraavide rajamisel välja tõstetud kraavivallide mahtu ning kontrolliti turbakihi paksust. Lisaks hinnati visuaalselt puittaimestiku raiumise vajadust kraavi kallastel paisude rajamiseks. Lisaks hinnati alal kuivendamisest ja turba kaevandamisest tingitud mõju keskkonnale.

Kildemaa jääksoole on koostatud ehitus tehniline projektlahendus. Pinnamudeli koostamiseks on kasutatud 2014 aasta kevadisel madallennul mõõdetud LiDAR andmeid. Mõõdistatud kõrguslike punktide töötlemiseks kasutati vabavara Las tools ja Autodesk ReCapi võimaldamaks avada ja koostada maapinnamulde Civil 3Ds. Koostatud maapinnamudelit kasutati töötlemiseks SAGA-s. Voolutee ja valgalade modelleerimiseks on kasutatud vabavara SAGA. Nüüdisaja mudelite kasutamine kiirendab projekteerimise kulgu.

Kraavide sulgemise tõttu on taastamisala läbiva vee vooluhulk väiksem taastamise eelsest olukorrast.

Tehnilise projektlahendusega on saavutatud tulemused, mis kiirendavad jääksoos toimuvaid taastumisprotsesse tagasi rabaks. Töös on ettenähtud olemasolevate vallide ja kooritava pinnasega kraave täita ja ehitada kraavidele paise. Kraavides on veetase tõstetud paisude mõjul, mis on rajatud sammuga iga 20 cm maapinna kõrguskasvu kohta. Pinnavee voolutee on oluliselt pikenenud projekti järgses olukorras, kui olemas olevas olukorras. Pinnavee liikumise teekond on pikenenud tänu rajatud paisudele ja pinnasvallidele. Liigvee juhtimine võrdlusalale on välistatud, takistades vee liikumist pinnasvallidega.

Projekталale on jäätud kaks võrdlus ala, kus ei tehta mullatöid, ei suleta kraave ja ei likvideerita otsadreene. Koostatud on vajalikud joonised, teostamaks vajalikud tööd taastaval alal.

Olemas olevatele eesvooludele K-25 ja K-27 projekталalt väljumisele on projekteeritud kolmnurk mõõtulevooludega paisud.

Projektiga on ette nähtud raietöid 20,3 hektarit raietöid. Täidetakse 23 kraavi mahuga 8490 m³. Rajatakse 130 paisu, mahuga 5565 m³.

Viidatu kirjandus

Arold, I. (2005). Eesti maastikud. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. 453 lk

Ballard, C.E., McIntyre, N., Wheeler, H.S., Holden, J., Wallage, Z.E. (2011) Hydrological modelling of drained blanket peatland. - Journal of Hydrology 2011. lk 91-93.

Bergsma, B., Quinlan, C. (2009) Raised Bog Water Chemistry (Biogeochemistry). - Sifton Bog ESA Conservation Master Plan 2009-2019. 2009. lk 23-26. [*on-line*] <https://thamesriver.on.ca/wp-content/uploads/SiftonBog/04-SiftonBog-MPUpdate-Section4.pdf> (15.05.2019).

Brooks, S., Stoneman, R., Hanlon, A., Thom, T. (2014). Conserving bogs the management handbook. 2nd edition. 232 lk. [*on-line*] https://issuu.com/peat123/docs/conserving_bogs (06.05.2019).

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fisher, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. - Geoscientific Model Development 2015. lk 1991-2007.

Eesti turbavarud. 1992.. Tallinn: RE Eesti Geoloogiakeskus. 146 lk.

Grand-Clement, E., Anderson, K., Smith, D., Angus, M., Luscombe, D.J., Gatis, N., Bray, L.S., Brazier, R.E. (2015) New approaches to the restoration of shallow marginal peatlands. - Journal of Environmental Management. 2015 Volume 161. lk 417-430.

Grau-Andrés, R., Gray, A., Davies, G.M., Scott, E.M., Waldron, S. (2019) Burning increases post-fire carbon emissions in a heathland and a raised bog, but experimental manipulation of fire severity has no effect. - Journal of Environmental Management. 2019; Volume 233. lk 321-328.

Kaevandamisega rikutud ja mahajäetud turbaalade ning kaevandamiseks sobivate turbaalade nimekiri" Lisa 1 Keskkonnaministri 27.12.2016 määrus nr 87 „(Vastu võetud 27.12.2016, viimati jõustunud 01.01.2017). - Riigi Teataja (<https://www.riigiteataja.ee/akt/129122016064>) (20.05.2019)

Kaitstavate soode tegevuskava. (2015). 41 lk. [*on-line*] https://www.envir.ee/sites/default/files/soode_tegevuskava.pdf (15.05.2019)

Keskkonnaministri 27.12.2016 määrus nr 87 "Kaevandamisega rikutud ja mahajäetud turbaalade ning kaevandamiseks sobivate turbaalade nimekiri" Lisa 2. (vastu võetud 27.12.2016, jõustunud 01.01.2017). - Riigi teataja

https://www.riigiteataja.ee/akt/1291/2201/6064/KKM_m87_lisa2.pdf# (10.05.2019)

Kohv, K., Salm, J.-O., Jakobson, L., Niitlaan, E. Turba kaevandamise hüdroloogilise mõju vähendamine aruanne. (2015). 47 lk.

Kuivendatud maa andmed seisuga 03.05.2019.

<https://www.pma.agri.ee/index.php?id=104&sub=355&sub2=397&sub3=398> (7.05.2019)

Landry, J., Rochefort, L. (Aprill 2012). The Drainage of Peatlands: impacts and rewetting techniques. 62 lk. [on-line] http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Drainage_guide_Web_02.pdf (29.04.2019).

Leupold, S. 2004. After use of cutaway peatlands. 63 lk. http://www.gret-perg.ulaval.ca/fileadmin/fichiers/fichiersGRET/pdf/Doc_generale/Stencil108.pdf [on-line] (15.03.2013)

Lode, E., Sepp, K., Truus, L., Ilomets, M., Pajula, R. (2015). Korrastavate jääksoode valik. Ökoloogia keskus Loodus- ja terviseteaduste instituut Tallinna Ülikool. Tallinn. 199 lk. [on-line] https://www.envir.ee/sites/default/files/korrastatavate_jaaksoode_valik_aruanne_04122015.pdf (28.04.2019).

Looduskaitse arengukava aastani 2020. (2012) Tallinn: Keskkonnaministeerium. 48 lk [on-line] https://www.envir.ee/sites/default/files/lak_lop_0.pdf (21.04.2019).

Maa-amet. Maaameti-geoportaal, Maardlate kaardirakendus. [veebileht]

http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU213&user_id=at&bbox=537200.67409704,6470608.7064665,546622.338863144,6478916.62811329&setlegend=UU213_turbaalad=1&LANG=1 (20.05.2019)

Maa-amet. Maaameti-geoportaal. [veebileht] <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed/Aerolaserskaneerimise-korguspunktid-p499.html> (11.05.2019)

Maapõueseadus¹. (Vastu võetud 27.10.2019, viimati jõustunud 01.01.2017). - *Riigi Teataja* (<https://www.riigiteataja.ee/akt/MaaPS>). (20.05.2019).

Maastik, A., Haldre, H., Koppel, T., Paal, L. Hüdraulika ja pumbad. (1995). 468 lk.

- Mackin, F., Barr, A., Rath, P., Eakin, M., Ryan, J., Jeffrey, R., Valverde, F.F.** (2017). Best practice in raised bog restoration in Ireland. - Irish Wildlife Manuals. /Jeffrey, R., Marnell, F. No. 99. National Parks and Wildlife Service 2017. lk 82.[*on-line*]
https://www.npws.ie/sites/default/files/publications/pdf/IWM99_RB_Restoration_Best%20Practice%20Guidance.pdf (21.04.2018).
- Martin-Ortega, J., Allott, T.E.H., Glenk, K., Schaafsma, M.** (2014). Valuing water quality improvements from peatland restoration: Evidence and challenges. - Ecosystem Services 9. lk 34-43.
- McDonagh, E.** (1996). Drain Blocking by machine on Raised Bogs. National Parks and Wildlife Service, Dublin. 22 lk. [*on-line*]
https://www.npws.ie/sites/default/files/publications/pdf/McDonagh_1996_Drain_Blocking_Raised_Bogs.pdf (31.05.2019)
- Nugraha, M.I., Annisa, W., Syaufina, L., Anwar, S.** (Oktoober 2016) Capillary water rise in peat soil as affected by various groundwater levels. Vol 17 No 2. Indonesian Journal of Agricultural Science. lk 75-83.
- Ots, K., Tilk, M.** (2009) Männikaste morfomeetriast Edela-Eestis luitemaastikku ilmestavas Tolkuse rabas. lk 17-27
- Paal, J., Hein, K., Heinsoo, K., Holm, B., Ilomets, M., Ivask, M., Karofeld, E., Kõpp, V., Leiner, E., Lode, E., Melts, I., Niitlaan, E., Orru, M., Paal, T., Pikk, J., Pikka, J., Raadla, K., Raudsep, R., Saarmets, T., Triisberg, T.** (2011). Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine. Tartu 2011. lk 167. [*on-line*]<https://www.digar.ee/arhiiv/et/books/15609> (15.05.2019).
- Paal, J., Ilomets, M., Karofeldi, E., Truus, L., Leibak, E., Lode, E., Pajula, R., Pikka, J., Kull, A.**(2016) Korrastatavate jääksode valik ja korrastamise tulemuste hindamine Metoodiline juhend. 42 lk. [*on-line*]
https://www.envir.ee/sites/default/files/jaaksoode_hindamise_metoodika_140516_loplik.pdf (15.05.2019).
- Peatland Action Guidance for land managers Installing peat dams. (Mai 2015). Scottish Natural Heritage Dualchas Nàdair na h-Alba Peatland Action. 8 lk.[*on-line*]
<https://www.nature.scot/sites/default/files/2017-10/Guidance-Peatland-Action-installing-peat-dams-A1268162.pdf> (29.04.2019).
- Price, J.S., Heathwaite, A.L., Baird, A.J.** (2003). Hydrological processes in abandoned and restored peatlands: An overview of management approaches - Wetland Ecology and Management. /Heathwaite, A, L. Nr 11. Holland.Kulwer Academic Publishers. lk 65-83.

Purre, A.-H., Pajula, R., Ilomets, M. (2019). Carbon dioxide sink function in restored milled peatlands – The significance of weather and vegetation. - *Geoderma*. 2019; 246. lk 30-42.

Qunity, F. & Rochefort, L. (2003) Peatland Restoration Guide. Second Edition. Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy.

R, Viir. (2013 Tartu). Tudulinna soo ammendatud turbatootmisala rekultiveerimine. 59 lk.

rapidlasso GmbH. [veebileht] <https://rapidlasso.com/lastools/> (11.05.2019)

Restuccia, F., Huang, X., Rein, G. (2017). Self-ignition of natural fuels: Can wildfires of carbon-rich soil start by self-heating?. - *Fire Safety Journal*. 2017; 91. lk 828-834.

Saga GIS tutorials. [veebileht] <https://sagatutorials.wordpress.com/preprocessing-and-catchment-delineation/> (26.05.2019)

SAGA User Group Association. [veebileht] <http://saga-gis.org/en/index.html> (15.05.2019)

Soovik, E., Tammaru, U.,(1989). Kuivendussüsteemide projekteerimisjuhend II osa arvutuse alused. Tallinn. 42 lk.

Tomassen, H.B.M., Smolders, A.J.P., Schaaf, S., Lamers, L.P.M., Roelofs, J.G.M.(2010 Tšehhi). Restoration of Lakes, Streams, Floodplains and Bogs in Europe: Principles and Case Studies. Restoration of Raised Bogs: Mechanisms and Case Studies from the Netherlands. lk 287-291. [on-line]

https://books.google.ee/books?id=lwLWMWXQl_oC&pg=PA289&lpg=PA289&dq=wooden+dam+bog&source=bl&ots=qt1szElurD&sig=ACfU3U0hMBVQfnKLmdAAbX7pnZM6K7hg2A&hl=et&sa=X&ved=2ahUKEwj_7JTg8IniAhVh_CoKHW1vAIoQ6AEwBXoECAgQAQ#v=onepage&q&f=false (07.05.2019)

Truus, L., Ilomets, M., Pajula, R., Purre, A.H., Sepp, K. (2018) Sood kliima võtmes interneti väljaanne Eesti looduskaitse spetsialistidele. Tallinna Ülikool. 28 lk. [on-line] <https://life-peat-restore.eu/ee/wp-content/uploads/sites/8/2018/02/sood-kliima-votmes.pdf> (21.04.2019).

Uuritud ning kaevandatud maa korrastamise täpsustatud nõuded ja kord, kaevandatud maa korrastamise projekti sisu kohta esitatavad nõuded, kaevandatud maa ning selle korrastamise kohta aruande esitamise kord ja aruande vorm ning maa korrastamise akti sisu ja vorm. Vastu võetud 07.04.2017 nr 12, - *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/108042017005>

Valk, U. (1988). Eesti sood. Tallinn 1988. 344 lk.

Valk, U. (2005). Eesti rabad. Tartu 2005. 314 lk.

Lisad

Lisa 1.Kraavide keskmised parameetrid ja seisukord

Kraavi tähis	Kogu-	Lõigu-	Kesk. Sügavus maapinnast (m)	Pealt laius (m)	Kraavi tüüp
	Pikkus (m)				
K-1a	91	91	1,2	2	A
K-1	216	216	1,4	1	A
K-2	190	190	1	0,7	A
K-3	188	188	1,3	0,5	A
K-4	188	188	1,3	0,7	A
K-5	188	188	1,1	0,7	A
K-6	190	190	1,2	0,7	A
K-7	192	192	1,3	0,7	A
K-8	188	188	1,6	1	A
K-9	194	194	1,6	1	A
K-10	198	198	1,6	1	A
K-11	192	192	1,5	1	A
K-12	195	195	1,7	1	A
K-13	211	211	1,7	1	A
K-14	227	227	1,5	1	A
K-15	221	221	1,7	0,7	A
K-16	225	225	1,5	0,8	A
K-17	219	219	1,8	1	A
K-18	226	226	1,8	1	A
K-19	224	224	1,8	1	A
K-20	222	222	1,6	0,6	A
K-21	220	220	1,6	0,9	A
K-22	223	223	1,5	0,9	A
K-23	225	225	1,6	0,9	A
K-24	223	223	1,7	0,6	A
K-25	1055	536	2,1	3,5	A
		519	0,5	0,3	A
T-25	757	757	0,5	0,4	A
K-26	884	223	0	2	B
		661	0,5	0,4	A
K-27	1044	470	2,4	1,5	A
		574	0,5	0,5	A
T-27	910	910	0,5	0,5	A
K-28	106	106	1,4	0,6	A
K-29	235	235	1,6	1,2	A
K-30	226	226	1,3	1	A
K-31	234	234	1,4	1	A
K-32	225	225	1,4	1	A
K-33	226	226	1,4	1	A
K-34	232	232	1,3	0,8	A
K-35	201	201	1,3	0,7	A

Lisa 1 järg

Kraavi tähis	Kogu pikkus (m)	Lõigu-Pikkus (m)	Kesk. Sügavus maapinnast (m)	Pealt laius (m)	Kraavi tüüp
K-36	220	220	1,1	0,6	A
K-37	207	207	1,1	0,6	A
K-38	215	215	1,1	0,6	A
K-39	211	211	1,2	0,6	A
K-40	212	212	1,4	0,7	A
K-41	218	218	1,4	0,7	A
K-42	224	224	1,4	0,7	A
K-43	201	201	1,4	0,7	A
K-44	213	213	1,4	0,7	A
K-45	227	227	1,4	0,7	A
K-46	215	215	1,6	0,7	A
K-47	221	221	1,3	0,8	A
K-48	224	224	1,3	1	A
K-49	480	480	1,9	1	A

A- funktsioneeriv kraav

B- kinni kasvanud kraav

Lisa 2. Pinnasega suletavad kraavid

Kraavi tähis	Kogu-	Lõigu-	Kesk. Sügavus maapinnast (m)	Pealt laius (m)	Maht (m ³)
	pikkus (m)	pikkus (m)			
K-1	216	216	1,4	1	302
K-2	190	190	1	0,7	133
K-3	188	188	1,3	0,5	122
K-4	188	188	1,3	0,7	171
K-5	188	188	1,1	0,7	145
K-6	190	190	1,2	0,7	160
K-7	192	192	1,3	0,7	175
K-8	188	188	1,6	1	301
K-9	194	194	1,6	1	310
K-10	198	198	2,6	1	515
K-11	192	192	1,5	1	288
K-12	195	195	2,7	1	527
K-13	211	211	1,7	1	359
K-25	1813	261	2,1	3,5	1918
K-27	1774	151	2,4	1,5	544
K-42	224	224	1,4	0,7	220
K-43	201	201	1,4	0,7	197
K-44	213	213	1,4	0,7	209

Lisa 2 järg

Kraavi tähis	Kogu-Pikkus (m)	Lõigu-Pikkus (m)	Kesk. Sügavus maapinnast (m)	Pealt laius (m)	Maht (m ³)
K-45	227	227	1,4	0,7	222
K-46	215	215	1,6	0,7	241
K-47	221	221	1,3	0,8	230
K-48	224	224	1,3	1	291
K-49	480	480	1,9	1	912
Kõik kokku:					8490

Lisa 3. Paisude mahud tüübiti ja paisude koordinaadid

Rajatise nr	Rajatise tüüp	Mõõtmed				Koordinaadid X Y
		pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	
1	2	3	4	5	5	7
1	tüüp I	75	1	0,7	105	6476246.844 544932.729
2	tüüp I	15	1	0,7	32	6476268.045 544991.616
3	tüüp I	15	1	0,7	32	6476237.478 545177.346
4	tüüp II	15	1	0,7	42	6476718.377 545589.659
5	tüüp II	15	1	0,7	42	6476700.121 545592.635
6	tüüp II	15	1	0,7	42	6476683.218 545595.049
7	tüüp II	15	1	0,7	42	6476654.703 545599.401
8	tüüp II	15	1	0,7	42	6476617.575 545604.118
9	tüüp II	15	1	0,7	42	6476576.705 545610.368
10	tüüp II	15	1	0,7	42	6476592.359 545607.489
11	tüüp II	15	1	0,7	42	6476544.496 545614.519
12	tüüp III	20	1	0,7	56	6476763.944 545584.045
13	tüüp II	15	1	0,7	42	6476503.205 545620.999
14	tüüp II	15	1	0,7	42	6476453.715 545628.415

Lisa 3 järg

Rajatise nr	Rajatise tüüp	pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	Koordinaadid X Y
15	tüüp I	15	1	0,7	32	6476747.757 545620.516
16	tüüp I	15	1	0,7	32	6476680.685 545614.659
17	tüüp I	15	1	0,7	32	6476657.792 545617.338
18	tüüp I	15	1	0,7	32	6476763.243 545615.644
19	tüüp I	15	1	0,7	32	6476704.855 545625.108
20	tüüp I	15	1	0,7	32	6476265.779 545644.900
21	tüüp I	15	1	0,7	32	6476596.608 545625.011
22	tüüp I	15	1	0,7	32	6476638.120 545627.348
23	tüüp I	15	1	0,7	32	6476482.172 545630.265
24	tüüp I	15	1	0,7	32	6476549.865 545637.216
25	tüüp I	15	1	0,7	32	6476574.308 545641.879
26	tüüp I	15	1	0,7	32	6476620.737 545648.116
27	tüüp I	15	1	0,7	32	6476419.064 545643.679
28	tüüp I	15	1	0,7	32	6476374.164 545646.186
29	tüüp I	15	1	0,7	32	6476506.993 545645.273
30	tüüp I	15	1	0,7	32	6476731.718 545648.569
31	tüüp I	15	1	0,7	32	6476464.469 545651.914
32	tüüp I	15	1	0,7	32	6476531.657 545654.220
33	vall	120	1	0,7	168	6476645.314 545624.293, 6476713.259 545723.204
34	tüüp I	15	1	0,7	32	6476399.807 545662.186

Lisa 3 järg

Rajatise nr	Rajatise tüüp	pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	Koordinaadid X Y
35	tüüp I	15	1	0,7	32	6476448.385 545685.425
36	tüüp I	15	1	0,7	32	6476059.158 545687.229
37	tüüp I	15	1	0,7	32	6476231.637 545660.370
38	vall	120	1	0,7	168	6476580.475 545642.283, 6476648.421 545741.195
39	tüüp I	15	1	0,7	32	6476187.797 545669.901
40	tüüp I	15	1	0,7	32	6476669.879 545682.750
41	vall	120	1	0,7	168	6476503.063 545628.385, 6476562.730 545732.500
42	tüüp I	15	1	0,7	32	6476116.537 545679.598
43	tüüp I	15	1	0,7	32	6476652.729 545699.673
44	tüüp I	15	1	0,7	32	6476388.568 545720.545
45	tüüp I	15	1	0,7	32	6476742.659 545704.454
46	tüüp I	15	1	0,7	32	6476564.443 545707.637
47	tüüp I	15	1	0,7	32	6476476.379 545714.621
48	tüüp I	15	1	0,7	32	6476765.042 545715.032
49	tüüp I	15	1	0,7	32	6475900.516 545710.727
50	tüüp I	15	1	0,7	32	6476392.394 545739.320
51	tüüp I	15	1	0,7	32	6476725.027 545737.027
52	tüüp I	15	1	0,7	32	6476457.418 545737.896
53	tüüp I	15	1	0,7	32	6476503.614 545744.310

Lisa 3 järg

Rajatise nr	Rajatise tüüp	pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	Koordinaadid X Y
54	tüüp I	15	1	0,7	32	6476440.241 545757.773
55	tüüp I	15	1	0,7	32	6475870.742 545831.047
56	tüüp I	15	1	0,7	32	6476492.067 545881.115
57	tüüp I	15	1	0,7	32	6475883.190 545888.447
58	tüüp I	15	1	0,7	32	6476418.787 545878.008
59	tüüp I	15	1	0,7	32	6476168.560 545916.382
60	tüüp I	15	1	0,7	32	6476111.022 545926.622
61	tüüp I	15	1	0,7	32	6476240.538 545905.552
62	tüüp I	15	1	0,7	32	6476341.895 545903.132
63	tüüp I	15	1	0,7	32	6476281.688 545928.476
64	tüüp I	15	1	0,7	32	6476254.808 545918.297
65	tüüp I	15	1	0,7	32	6476830.135 545946.440
66	tüüp I	15	1	0,7	32	6476788.536 545956.184
67	tüüp I	15	1	0,7	32	6476721.335 545957.494
68	tüüp I	15	1	0,7	32	6476743.760 545958.203
69	vall	280	1	0,7	392	6476808.227 545834.754, 6476882.981 546067.741
70	tüüp I	15	1	0,7	32	6476139.941 545935.056
71	tüüp I	15	1	0,7	32	6476812.151 545967.475
72	tüüp I	15	1	0,7	32	6476767.519 545964.823
73	tüüp I	15	1	0,7	32	6476855.690 545957.944

Lisa 3 järg

Rajatise nr	Rajatise tüüp	pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	Koordinaadid X Y
74	tüüp I	15	1	0,7	32	6475947.310 545970.966
75	vall	240	1	0,7	336	6476530.184 545881.251, 6476574.230 546110.585
76	tüüp I	15	1	0,7	32	6476531.022 545998.431
77	tüüp I	15	1	0,7	32	6476285.704 545993.688
78	tüüp I	15	1	0,7	32	6476842.457 546010.981
79	tüüp I	15	1	0,7	32	6476798.052 546013.717
80	tüüp I	15	1	0,7	32	6476446.473 546011.060
81	tüüp I	15	1	0,7	32	6475959.935 546033.829
82	tüüp I	15	1	0,7	32	6476781.141 546045.946
83	tüüp I	15	1	0,7	32	6476849.547 546050.416
84	tüüp I	15	1	0,7	32	6476473.760 546034.734
85	tüüp I	15	1	0,7	32	6476739.226 546052.091
86	tüüp I	15	1	0,7	32	6476825.541 546039.888
87	tüüp I	15	1	0,7	32	6476873.280 546062.429
88	tüüp I	15	1	0,7	32	6476808.548 546062.423
89	tüüp I	15	1	0,7	32	6476764.388 546068.296
90	tüüp I	15	1	0,7	32	6476831.399 546069.414
91	tüüp I	15	1	0,7	32	6476437.067 546077.787
92	tüüp I	15	1	0,7	32	6476523.886 546077.280
93	tüüp I	15	1	0,7	32	6476721.891 546077.241

Lisa 3 järg

Rajatise nr	Rajatise tüüp	pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	Koordinaadid X Y
94	tüüp III	20	1	0,7	56	6476884.380 546077.643
95	tüüp I	15	1	0,7	32	6476547.775 546087.717
96	tüüp I	15	1	0,7	32	6476290.699 546085.124
97	tüüp II	15	1	0,7	42	6476854.285 546081.359
98	tüüp II	15	1	0,7	42	6476808.295 546086.864
99	tüüp II	15	1	0,7	42	6476783.440 546089.823
100	tüüp I	15	1	0,7	32	6476507.525 546092.868
101	tüüp II	15	1	0,7	42	6476575.996 546117.828
102	tüüp II	15	1	0,7	42	6476759.144 546092.807
103	tüüp I	15	1	0,7	32	6476462.351 546104.757
104	tüüp I	15	1	0,7	32	6475972.393 546105.580
105	tüüp II	15	1	0,7	42	6476880.694 546098.050
106	tüüp II	15	1	0,7	42	6476546.147 546122.409
107	tüüp II	15	1	0,7	42	6476864.114 546099.738
108	tüüp II	15	1	0,7	42	6476826.145 546105.252
109	tüüp II	15	1	0,7	42	6476739.869 546096.484
110	tüüp I	15	1	0,7	32	6476447.016 546125.983
111	tüüp II	15	1	0,7	42	6476787.085 546110.433
112	tüüp II	15	1	0,7	42	6476766.869 546113.468
113	tüüp I	15	1	0,7	32	6476530.527 546114.521

Lisa 3 järg

Rajatise nr	Rajatise tüüp	pikkus m	laius m	kõrgus m	maht m ³	Koordinaadid X Y
114	tüüp I	15	1	0,7	32	6476488.014 546109.837
115	tüüp I	15	1	0,7	32	6476422.203 546138.943
116	tüüp II	15	1	0,7	42	6476486.190 546129.932
117	tüüp II	15	1	0,7	42	6476717.722 546119.674
118	tüüp I	15	1	0,7	32	6476293.163 546141.051
119	tüüp II	15	1	0,7	42	6476665.322 546126.986
120	tüüp I	15	1	0,7	32	6476439.935 546136.931
121	tüüp I	15	1	0,7	32	6476234.821 546164.397
122	tüüp I	15	1	0,7	32	6476161.243 546174.084
123	tüüp II	15	1	0,7	42	6476568.231 546139.975
124	tüüp I	15	1	0,7	32	6475987.042 546172.248
125	tüüp I	15	1	0,7	32	6476294.462 546161.493
126	tüüp I	15	1	0,7	32	6476031.106 546192.497
127	tüüp I	15	1	0,7	32	6476297.055 546186.041
128	tüüp I	15	1	0,7	32	6476298.907 546228.919
129	tüüp I	15	1	0,7	32	6476300.056 546269.784
130	tüüp I	15	1	0,7	32	6476301.987 546296.241
Kokku:					5565	

Märkus: paisu koordinaadid on tema keskpunkti asukoht, valli koordinaadid on tema otste asukohas.

Lisa 4. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Mina, Mihkel Elmaste,

sünniaeg 12.01.1993,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Kildemaa jääksoo taastamise tehniline projekt, mille juhendajad on Henri Daniel Ots ja Toomas Timmusk

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____ (allkiri)

Tartu, 03.06.2019

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Henri Daniel Ots _____ (allkiri) kuupäev 03.06.2019

Toomas Timmusk _____ (allkiri) kuupäev 03.06.2019

Graafilised lisad

1. Taastamisala asukoha skeem M 1:150 000
2. Valgalade paiknemine M 1:10 000
3. Taastamisala plaan M 1:5 000
4. Alal planeeritavad tegevused M 1:5 000
5. Alale ligipääsu kirjeldav kaart M 1:10 000
6. Kraavide sulgemise mõju vee liikumisele M 1:10 000
7. Raietöötluse plaan M 1:20 000
8. Ülevoolupaisu tüüp III joonis M 1:50
9. Turbapaisu tüüp I ja II joonis M 1:80